

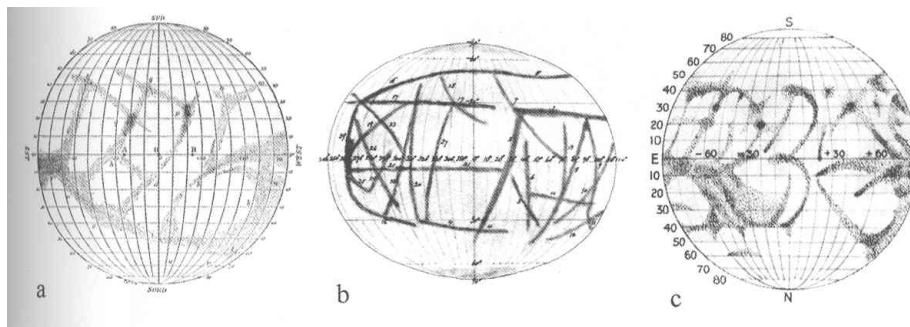
# ZÁKLADY ASTRONOMIE 1

## Praktikum 9.

### ROTACE MERKURU

#### 1 Úvod

Určování velikosti planet, doby jejich oběhu kolem mateřské hvězdy, délky rotace či hmotnosti jsou důležitou úlohou pozorovací astronomie. Tyto informace jsou vlastně prvním krokem a nezbytným předpokladem pro další studium planetárních světů. Přestože nyní tyto parametry určujeme u vzdáleností planetárních světů mimo naši Sluneční soustavu, ještě před půl stoletím byl problém zjistit tyto parametry například u planety Merkur. Do roku 1900 bylo jedinou možností, jak určit dobu rotace planety, přímé pozorování jejího povrchu. Do 80. let 19. století byl všeobecně přijímán názor, že den na Merkuru trvá přibližně 24 pozemských hodin. V roce 1889 G. V. Schiaparelli zveřejnil zprávu, že pozoroval jisté trvalé útvary na povrchu Merkuru a z nich vyvodil, že doba rotace je stejná jako doba oběhu, tedy 88 dní. Další pozorovatelé, zejména například P. Lowell vázanou rotací u Merkuru potvrdili. Kolem roku 1900 bylo možné začít studovat planety ve Sluneční soustavě také spektroskopicky. Bohužel pro Venuši nebo Merkur nebyla tato metoda příliš účinná. Astronomové byli schopni jen potvrdit, že doba rotace je několik dní, ale větší přesnosti nedosáhli. Mnohem výkonnější se ukázala metoda radarového odrazu od studovaných planet. Poprvé byl radarový odraz od Merkur realizován v roce 1963. O dva roky později už bylo možné na otázku rotace Merkuru dát jasnou a jednoznačnou odpověď.

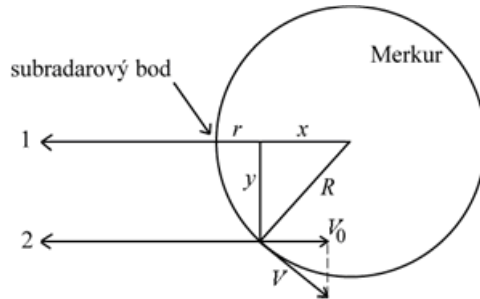


Obr. 1: Staré mapy Merkur. a) Schiaparelli (1889), b) Lowell (1896), c) Jarry-Desloges (1920). Převzato z <http://www.lpl.arizona.edu>.

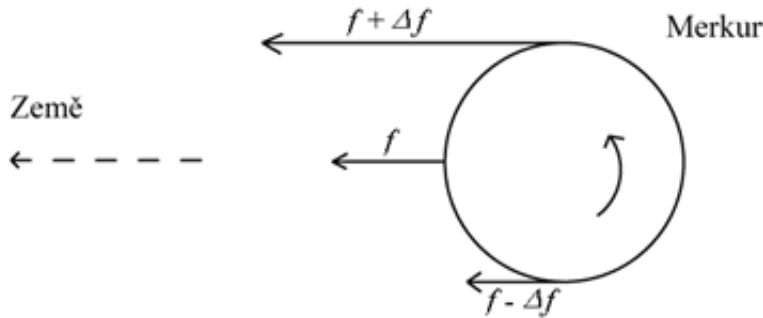
V srpnu 1965 provedli R. B. Dyce, G. H. Pettengill a I. I. Shapiro sérii radiových pozorování Merkur. S využitím 300m radioteleskopu v Arecibu vyslali k Merkur sérii pulsů o délce 0,1 ms a 0,5 ms o frekvenci 430 MHz. Protože doba cesty paprsku k Merkuru a zpět byla mnohem delší než délka pulsů, bylo možné pozorovat rozšíření signálu ve frekvenci způsobené rotací Merkur. Samozřejmě, frekvenční posun může být způsoben i pohybem mezi planetami nebo pohybem antény kolem zemské osy. Většina z těchto efektů ale byla pečlivým zpracováním signálů odstraněna.

Když je ostrý radarový puls odražen od rotující kulové planety, je přijatý signál rozšířený, jakoby rozmytý, v čase i frekvenci. Vyslaný signál dopadne na celý kotouček planety, ale nejdříve

se vrátí odraz z nejbližšího bodu, tedy ze středu kotoučku, z tzv. subradarového bodu. S malou prodlevou se pak vrací odraz ze vzdálenějších a vzdálenějších oblastí symetricky rozložených kolem subradarového bodu (viz obrázek 2). Na obrázku 4 je pět radarových odrazů od Merkuru s rozdílným časovým zpožděním. Všimněte si, že čím delší je časové zpoždění, tím větší je rozsah frekvencí vráceného signálu. Rozšíření signálu ve frekvenci je dáno tím, že jedna okrajová část disku se pohybuje směrem k Zemi a tedy k radaru, zatímco druhá od něj (viz obrázek 3). Jde o známý Dopplerův jev, takže radarový odraz z okraje, který se vzdaluje, se vrátí s menší frekvencí, zatímco odraz z přibližujícího se okraje bude mít frekvenci větší.



Obr. 2: Rozklad signálu v čase.



Obr. 3: Rozklad signálu ve frekvenci.

Určení rotační rychlosti pomocí radarového odrazu by mělo být v principu snadnou záležitostí, jenže odražený signál směrem k okraji slábne a signál přímo z okraje není použitelný. Proto pro určení složky rotační rychlosti ve směru k nám používáme odražený signál z prstence mezi subradarovým bodem a okrajem kotoučku planety (viz obrázek 2). V obrázku 4 je u každého signálu uvedeno zpoždění v mikrosekundách. Doba zpoždění odpovídá vzdálenosti, kterou musí signál navíc urazit oproti situaci, kdy dopadá přímo do subradarového bodu. Platí tedy  $\Delta t = 2r/c$  (neboť  $r = c\Delta t/2$ ), kde  $c$  je velikost rychlosti světla. Z obr. 2 plyne

$$x = R - r, y = \sqrt{(R^2 - x^2)}, \quad (1)$$

kde  $R = 2420$  km je poloměr Merkuru. Z obrázku 2 je také zřejmé, že složku rychlosti  $V_0$ , kterou se od nás vzdaluje (nebo k nám přibližuje) právě ta část povrchu, od níž se signál odrazil, určíme z frekvenčního posunu  $\Delta f$  na základě Dopplerova jevu:

$$2V_0/c = \Delta f/f, \quad (2)$$

kde  $f$  značí frekvenci vyslaného impulsu. Z podobnosti trojúhelníků na obrázku 2 plyne

$$V/V_0 = R/y, \quad (3)$$

kde  $V$  je hledaná rychlost rotace. Odtud již triviálně určíme periodu rotace

$$P = 2\pi R/V. \quad (4)$$

## 2 Pracovní postup

1. V obrázku 4 vyznačte u křivek signálů zachycených po návratu z Merkuru body, kde úroveň signálu začíná klesat k základní úrovni. Nyní pro každý z těchto bodů určete velikost frekvenčního posunu. Spočtete pro každý signál průměrnou hodnotu frekvenčního posunu a запиšte do tabulky 2.

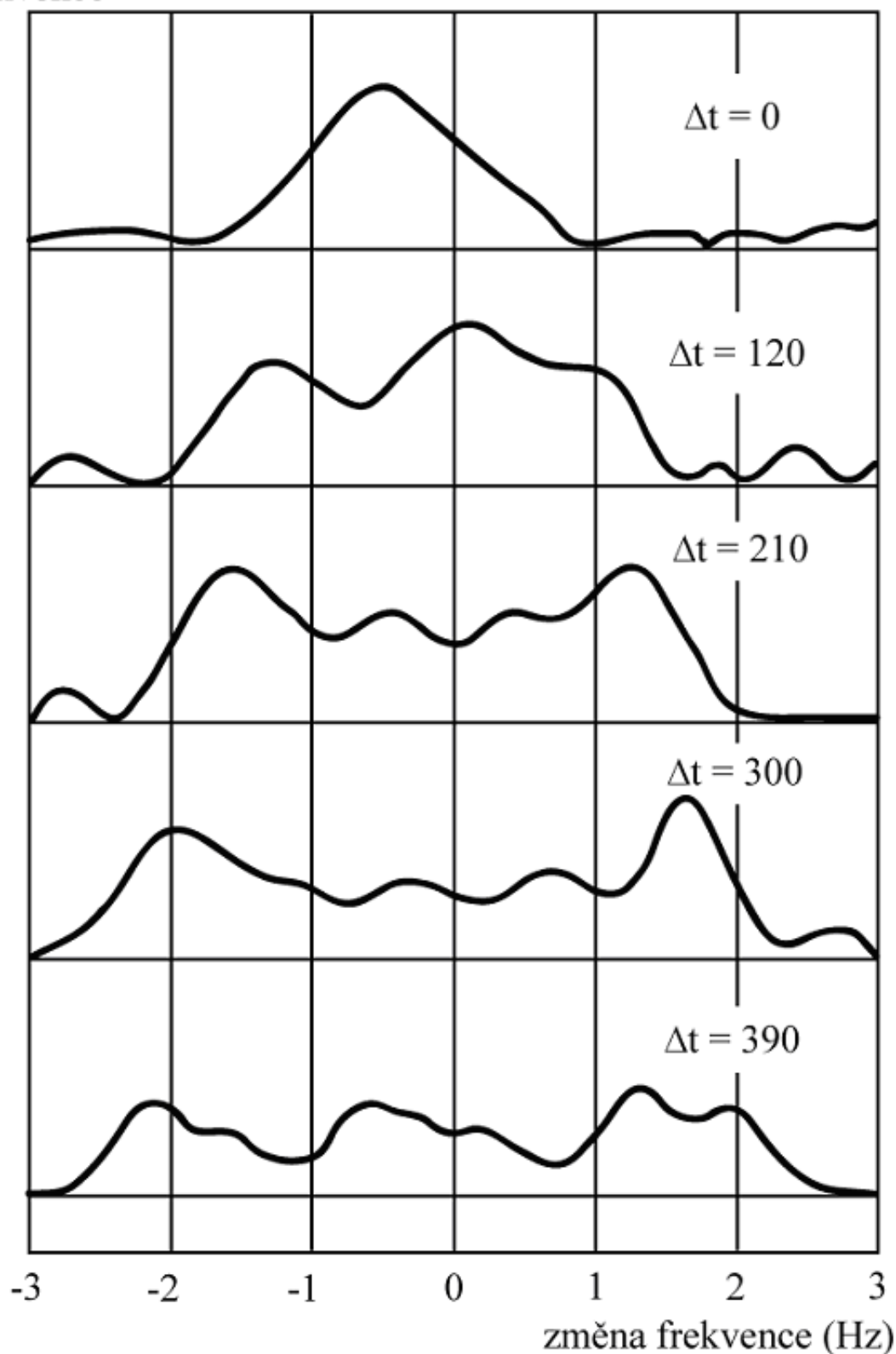
2. Pomocí výše uvedených vztahů vypočítejte postupně veličiny  $r, x, y, V_0, V$  a  $P$  v jednotkách, uvedených v tabulce 2 a запиšte do tabulky. Pokud jste četli pozorně, frekvenci vysílání  $f$  již znáte.

3. Hodnoty periody  $P$  získané pro čtyři různá časová zpoždění zprůměrujte. Porovnejte získanou hodnotu s hodnotou v literatuře.

### Použité zdroje a další materiály ke studiu

- Hoff, D. B., Schmidt, G.: Laboratory Exercises in Astronomy - the Rotation of Mercury, 1979, Sky and Telescope 58, č. 3, 219-221  
Dyce, B. R., Pettengill, G. H., & Shapiro, I. I., 1967, Astronomical journal 72, 351  
Pokorný, Z., Vademecum. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně, 2006

přijatý tok záření  
dané frekvence



Obr. 4: Záznamy radarových signálů odražených od Merkuru ( $\Delta t$  uvedené u každého záznamu je v mikrosekundách). Pozorování je ze 17. 8. 1965, radioteleskop Arecibo, Portoriko. Frekvence vyslaného impulsu byla 430 MHz.

Shrnutí úkolů:

1. Obrázek 4 si vytiskněte třikrát. Vyznačte na zobrazených křivkách body, kde úroveň signálu začíná klesat, v záporné i kladné oblasti. Změřte co nejpřesněji velikost frekvenčního posunu pro každý z těchto bodů. Hodnoty představují velikost posunu (budou tedy kladné). Vyznačení bodů a měření opakujte na druhém a poté třetím grafu. Nové grafy pro další měření používáte kvůli minimalizaci ovlivnění předchozím určením. Všechny naměřené hodnoty запиšte do tabulky 1. Spočtete pro každý signál průměrnou hodnotu frekvenčního posunu v hertzcích a chybu určení a запиšte do tabulky 1. Diskutujte, jak se liší spočtená chyba aritmetického průměru a chyba odpovídající nejistotě s jakou jste měření frekvenčního posunu prováděli.

Tabulka 1: Měření frekvenčního posunu

Signál $\Delta t$	1. kopie		2.kopie		3.kopie		Průměr	Chyba
	L [mm]	P [mm]	L [mm]	P [mm]	L [mm]	P [mm]		
$[\mu s]$							[Hz]	[Hz]
120								
210								
300								
390								

2. Pomocí výše uvedených vztahů a zjištěných průměrných hodnot frekvenčních posunů pro všechny čtyři signály vypočítejte postupně veličiny  $r, x, y, V_0, V$  a  $P$  v jednotkách, uvedených v tabulce 2 a запиšte do tabulky. Pokud jste četli pozorně úvod, frekvenci vysílání  $f$  již znáte.

Tabulka 2: Vypočtené hodnoty veličin

Signál $\Delta t$	$\Delta f$	$r$	$x$	$y$	$V_0$	$V$	$P$
$[\mu s]$	[Hz]	[km]	[km]	[km]	[kms <sup>-1</sup> ]	[kms <sup>-1</sup> ]	[dny]
120							
210							
300							
390							

3. Hodnoty periody  $P$  získané pro čtyři různá časová zpoždění zprůměrujte. Porovnejte získanou hodnotu s hodnotou v literatuře. Nezapomeňte uvést zdroj informace.

Zjištěná perioda rotace Merkuru . . . . .

Perioda rotace Merkuru nalezená v literatuře . . . . .

4. V den pozorování Merkuru 17. 8. 1965 nastala tato konfigurace Slunce, Země a Merkuru: Merkur byl 0,3977 AU od Slunce, Země 1,0116 AU od Slunce a úhel Slunce-Země-Merkur byl roven  $4^\circ$ . Vyslaný impuls z radaru se po odrazu od Merkuru vrátil zpět na Zemi za 616,125 s. Vypočtěte ze zadaných veličin velikost astronomické jednotky v kilometrech. Rychlost světla  $c = 299\,790\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ . Postup výpočtu запиšte do pracovního listu. (Nápověda: Je třeba využít jedné ze základních rovnic pro obecný trojúhelník.)

Zjištěná délka 1 AU = . . . . . km.

5. Vysvětlete, proč je ve vztahu (2) uveden koeficient 2?

6. Zjistěte a запиšte, kdy bude v nejbližším období nejlepší možnost pro pozorování Merkuru.