

Csillagászati Laboratórium I.

5. óra: A Merkúr rotációjának megmérése radarjelek segítségével

1. A labor célkitűzése

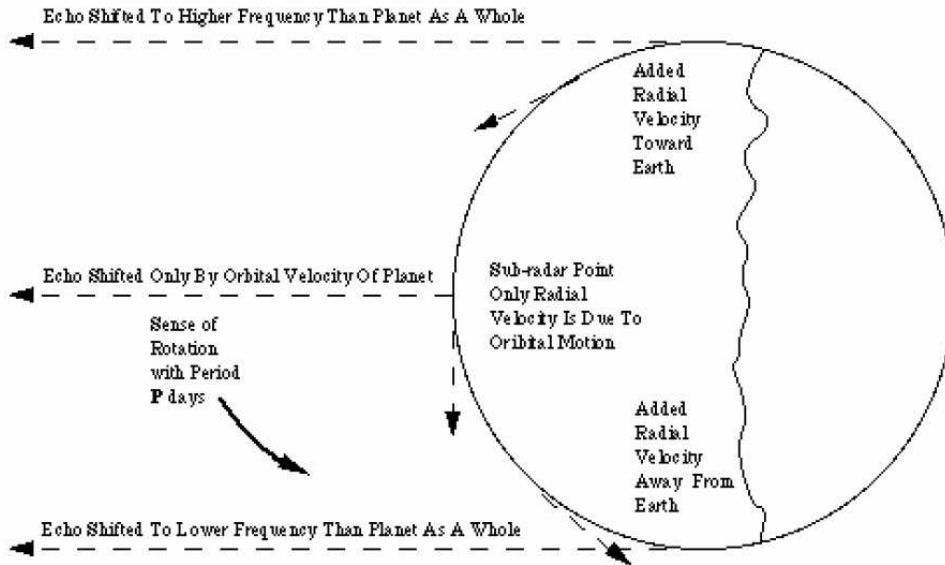
A Merkúr rotáló felszínéről visszaverődő radarjelek kiszélesedéséből a Merkúr rotációs periódusának megállapítása.

2. A mérés elméleti háttere

A Merkúrnek a Naphoz való közelsége miatt a XX-ik század elejéig nehéz volt bármely paraméterét meghatározni. Legtöbb paraméterét ma is a Merkúr kutató szondák eredményei alapján tudjuk (Mariner 10 és MESSENGER). Azonban még a Mariner expedíció előtt (1974-75) sikerült radarmérésekkel kimutatni a forgási periódusát 1965-ben. A laboron ezt a mérést és kiértékelését ismételtek el Ti is, a kapott eredményeket pedig hasonlították majd össze az eredeti mérések eredményeivel.

Bocsássunk a Merkúr felé egy ismert frekvenciájú rádiójelet. Attól függően, hogy milyen pozícióban vagyunk egymáshoz viszonyítva, 10 perctől egészen fél óra is lehet a jelnek a visszaérkezési ideje. Ezt az időtartamot a program futása alatt is végig kell majd várnotok, mintha rendes mérés lenne. Mire a jel eléri a Merkúr felszínét, addigra kiterjed annyira, hogy az egész, tőlünk látható felszínt beborítsa.

Mivel nyilvánvalóan a Merkúr felszíne nem egy körlap, hanem egy félgömb, ezért az odaérkező jeleink nem egyszerre verődnek vissza az egész felszínről, hanem először a legközelebbi ponttól („*sub-radar point*”) és csak utána a mögötte lévő gömbfelszín egyre távolabbi pontjairól. A visszatérő jelet kicsi időközönként ($\sim \mu s$) megnézzük, méghozzá frekvencia szerinti spektrálbontásban. Ha a bolygó forog, akkor a két széléről érkező jelek doppler eltolódást szenvednek, a felénk forduló részéről kék eltolódott, a tőlünk elforduló részéről pedig vörös. Az is világos, hogy a forgáson kívül a bolygónak a pálya menti keringéséből is származik egy Doppler eltolódás. Ennek a mértékét a „*sub-radar point*”-ból jövő jel méréséből tudjuk megállapítani. Logikusan az nem szenved forgásból származó eltolódást, csak a keringésből, mivel az a pontja a bolygófelszínnek a látóirányra éppen merőlegesen fordul el.



1. ábra. A Merkúr forgásából származó Doppler eltolódás magyarázata

Így a két fajta mozgásból származó Doppler hatást el tudjuk különíteni egymástól. A 2. ábrán egyszerűsítve látható ez a hatás. Ezen eltolódásnak a mértékéből meg tudjuk állapítani a bolygó felszínének a sebességét illetve ebből a forgási sebességét.

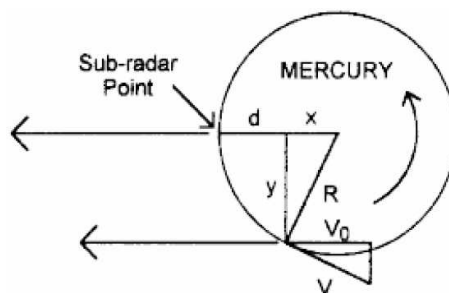


2. ábra. Az alacsonyabb frekvenciájú csúcs a hozzánk képest közeledő oldalról visszaverődött Doppler kék eltolódott visszhang, míg a magasabb frekvenciájú csúcs a tőlünk távolodó feléről visszaverődött jel.

3. A mérés menete

A gépeket szokás szerint kapcsoljátok be Windows rendszer alatt. A gépen található Merkúros CLEA programot indítsátok el. Szokásos „Log in ... name ...” procedúra után a *Start*-ra klikkeljétek. Itt be kell majd állítani a mérés időpontját. Az „Ok”-ra kattintva megjelenik egy információs ablak. E mellé kattintva indítsátok el a rádiótávcső óragépét („*tracing*”). A „set coordinates” után a „send pulse”-zal elindíthatjátok a rádiójelet a Merkúr felé. Itt egy jó kis várakozás következik, ugyanis meg kell várni, hogy a jel valójában visszaérkezzen.

A jelet 3 különböző időpontban fogja a program automatikusan mintavételezni, méghozzá a „sub-radar point” után 120, 210, 300 és 390 μ s-mal. Ezekhez az értékekhez bizonyos mennyiségeket ki tudunk előre számolni. Hogy miket? Nézzük meg a mérés geometriai elrendezését (3. ábra):



3. ábra. A Merkúr rotációjának és a jel visszaverődésének sematikus ábrája.

A 3. ábrán értelmezzük, hogy mi mi: A d az extra távolság, amit a jelnek meg kell tennie a „sub-radar point”-hoz viszonyítva. Az x és y ebből logikusan levezethető hosszok. A v a Merkúr rotációs sebessége a felszínén, míg a v_0 ennek a látóirányunkba eső vetülete.

Számoljuk ki a d értéket először: Ezt az egyszerű $s = v \cdot t$ képlet alapján írhatjuk úgy, hogy

$$d = \frac{c\Delta t}{2} \quad (1)$$

A c a fény sebessége, míg a Δt az időeltolódás, melynél mérünk. Ugye logikusan a jel kétszeres d távolságot tesz meg, ezért kell 2-vel leosztani. Az x a 3. ábra alapján is látható, hogy:

$$x = R_{\text{Merkúr}} - d \quad (2)$$

Az y a korábbiakhoz hasonlóan látszik a 3. ábrából, hogy kiszámolható a

$$y = (R_{\text{Merkúr}}^2 - x^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

képlet alapján. Ha megmérjük a frekvencia-eltolódásokat a jobb illetve a bal oldalra, akkor nyilvánvalóan az így kapott Δf_{teljes} frekvencia-eltolódás kétszerese lesz a rotációból származónak. Azaz:

$$\Delta f_{\text{teljes}} = \frac{\Delta f_{\text{jobb}} - \Delta f_{\text{bal}}}{2} \quad (4)$$

$$\Delta f_c = \frac{\Delta f_{\text{teljes}}}{2} \quad (5)$$

A v_0 értékét a Doppler eltolódás egyenletéből egyszerűen megkaphatjuk a

$$v_0 = c \cdot \frac{\Delta f_c}{f} \quad (6)$$

egyenletből. **VIGYÁZZATOK ...itt az f a kibocsátott jel frekvenciája, ami a controll panelről leolvasható!** Ebből a végső érték, amit keresünk, a Merkúr felszínének tangenciális sebessége az egyenlítőnél:

$$v = v_0 \cdot \frac{R_{\text{Merkúr}}}{y} \quad (7)$$

Ebből a rotációs periódus könnyedén adódik, hogy:

$$P_{\text{rot}} = \frac{2\pi R_{\text{Merkúr}}}{v} \quad (8)$$

4. A mérés kiértékelése

Otthon előre gondoljátok át, hogy milyen mennyiségeket fogtok mérni (nyilvánvalóan a „*sub-radar point*” és a négy időponthoz). Illetve gondoljátok át, hogy melyik ponthoz miket kell majd kiszámolnotok. Ezekhez a táblázatokat előre meg tudjátok szerkeszteni otthon \LaTeX -ben, illetve az egyenleteket is. Ez az a labor gyakorlat, ami otthoni felkészüléssel nagyon gyorsan befejezhető. Kérjük mind a négy időponthoz számított periódusértéket, illetve ezek segítségével egy becsült hibaértéket is. A kapott eredményt hasonlítsátok össze az ismert valódi értékkel (*Tipp: Az angol nyelvű dokumentáció végén egy egész jó összefoglaló táblázat található*).

A „*sub-radar point*” mérésével becsüljétek meg a Merkúr keringési sebességét is. Ennek az értékét elemezzétek és értékeljétek korábbi tanulmányaitok alapján.