1. Derült éjszakákon gyakran láthatunk mesterséges holdakat haladni a csillagok között. Szabad szemmel való megfigyelésre – nagy fényességük és gyakori láthatóságuk miatt – az amerikai ECHO típusú mesterséges holdak a legalkalmasabbak. Dolgozatunk két ilyen mesterséges holdon végzett megfigyelés-sorozatunkról számol be.

Az ECHO-k helyzetét ismert koordinátájú csillagokkal való összehasonlítással állapítottuk meg. Ez úgy történt, hogy a hold helyét akkor jelöltük be előre elkészített csillagtérképünkre, amikor a fényesebb csillagok mellett haladt el. Az így meghatározott pontok mellé a megfigyelés időpontjait is feljegyeztük. Nyilvánvaló, hogy észleléseink akkor voltak pontosabbak, amikor az ECHO olyan csillagképeken haladt keresztül, amelyekben sűrűn helyezkednek el fényesebb csillagok (Ökörhajcsár, Hattyú).

Az ECHO egy-egy alkalommal kb. 10–15 percig látható a horizont felett, és ezalatt 10–20 pontot sikerült csillagtérképünkre berajzolni. Méréseink 18 ilyen megfigyelési sorozatból állnak.

2. Mielőtt a műhold mozgásának leírásához felhasznált koordinátarendszerünket megadnánk, emlékezetbe kell idéznünk néhány tényt. Egy műhold olyan ellipszisen kering, amelynek egyik fókusza a Föld súlypontja, és azzal együtt résztvesz a Föld évi mozgásában. Az ellipszis pályasíkjának normálisa ezen évi mozgás folyamán mindig ugyanabba az irányba mutat. Ugyanígy megtartja irányát az évi mozgás folyamán a Föld forgástengelye (és vele együtt a földi egyenlítő síkja), valamint a földi egyenlítő és a Föld-pálya síkjának metszésvonala, amelyet mi *tavaszvonal*nak nevezünk. Mindezek a megállapítások tetszőleges inercia-rendszerben, így pl. az állócsillagokhoz rögzített koordináta rendszerben érvényesek.

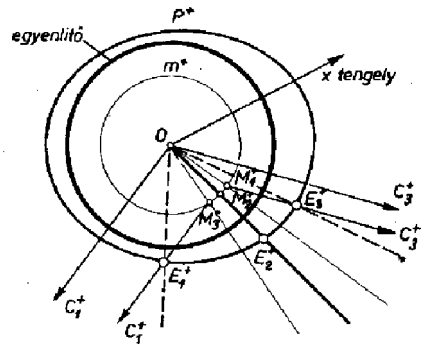
3. A továbbiakban a következő koordinátarendszert választjuk szemléletünk alapjául: koordinátarendszerünk origója legyen a Föld súlypontja, Z tengelye a Föld forgástengelye, X tengelye a tavaszvonal, az Y tengely pedig legyen az előbbi két tengelyre merőleges.

A csillagok irányát a következő két szöggel jellemezzük: (1) a csillagot az origóval összekötő egyenesnek az XY síkkal bezárt szögével (az ún. *deklinációval*) és (2) ezen összekötő egyenes XY síkra való vetületének az X tengellyel bezárt szögével (az ún. *rektaszcencióval*).

Ennek a koordinátarendszernek egyrészt az az előnye, hogy benne az ECHO pályasíkjának helyzete állandó, másrészt pedig az, hogy ebben a vonatkoztatási rendszerben az állócsillagok irányát minden időpontban (a méréseink pontosságánál jobb közelítésben) ugyanazok a szögek adják meg, mivel az állócsillagok a Föld-pálya átmérőjéhez képest is messze vannak a Földtől.

4. Megfigyeléseinkkel közvetlenül azt állapítjuk meg, hogy a Föld felszínén levő megfigyelő (M), az ECHO (E) és egy ismert koordinátájú állócsillag (C) valamely időpontban egy egyenesbe esik. Ennek az MEC egyenesnek az irányát a csillag ismert rektaszcenziója és deklinációja megadja. Ebből az adatpárból az ECHO égi koordinátáit – azaz a Föld-középpont (O) és az ECHO (E) egyenes rektaszcenzióját és deklinációját – csak a mesterséges hold pályaadatainak előzetes megállapítása után lehet kiszámítani. A továbbiakban az MEC egyenes égi koordinátáit az ECHO M pontra vonatkozó *látszólagos rektaszcenziójá*nak és *látszólagos deklinációjá*nak fogjuk nevezni.

Könnyű belátni, hogy deleléskor a műhold valódi és látszólagos rektaszcenziója megegyezik. [Egy égitest akkor delel, amikor az a Föld forgástengelye (Z) és a megfigyelő (M) által kifeszített síkban, az ún. *meridiánsíkban* van.] Mivel a meridiánsík merőleges az XY síkra, és a delelő ECHO-t a Föld-középponttal, illetve az M ponttal összekötő egyeneseket a meridiánsík tartalmazza, az OE és ME egyenesek XY síkra vetett vetülete egybeesik, ami éppen azt jelenti, hogy deleléskor az ECHO látszólagos és valódi rektaszcenziója megegyezik.

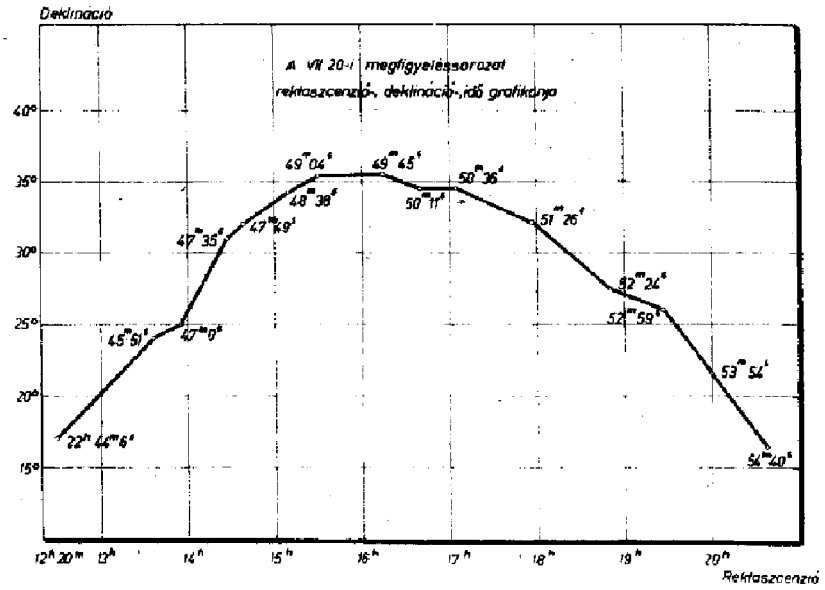


1. ábra

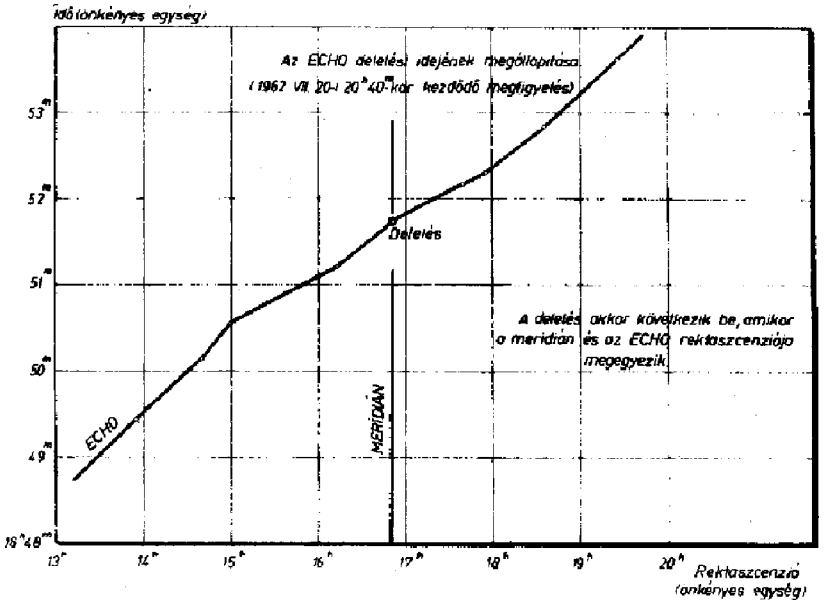
5. *Hogyan határozzuk meg azonban az ECHO delelését?* Az ábrán az ECHO pályájának (p), valamint az OE, MEC, és OC egyeneseknek az XY síkra vetett vetületét ábrázoltuk. Az arab indexek a különböző időpontokhoz tartozó helyzeteket különböztetik meg. A fekete nyilak a közel párhuzamos egyenesek végén azt jelzik, hogy ezek az egyenesek a nagyon messze levő C csillag helyén metszik egymást. Az m^+ kör a megfigyelő Föld-forgás miatt megtett körpályájának vetülete.

Az előbbiek szerint világos, hogy ha megszerkesztjük közös idő és rektaszcenzió tengelyekkel a megfigyelő meridiánjának idő-rektaszcenzió görbéjét, valamint az ECHO idő – látszólagos rektaszcenzió grafikonját, akkor e két görbe metszéspontjának idő-koordinátája a delelési időt, rektaszcenzió-koordinátája pedig az ECHO delelési látszólagos (és

ez esetben egyben valódi) rektaszcenzióját adja meg. A 2. ábrán közölt mérési sorozat ilyen kiértékelése látható a 3. ábrán.



2. ábra



3. ábra

6. Első feladatunk az ECHO keringési idejének meghatározása legyen. Keringési időnek nevezzük azt az időt, amely alatt a műhold pályájának valamely pontjából kiindulva ugyanezen pontba először visszatér. Definiciónk olyan koordináta rendszerre vonatkozik, amelyben az ECHO pályasíkjának helyzete állandó.

Amíg az ECHO pályáján egy teljes körülfordulást tesz meg, addig az XY síkra vetett vetülete is éppen egyszer futja körbe a p^+ vetületi pályát. Ez idő alatt azonban a megfigyelőhely a Föld forgása következtében az m körül elmozdult. Az ECHO tehát több, mint egy teljes körülfordulást tesz meg két delelés között, azaz két olyan helyzete között, amikor legalábbis egyik égi koordinátáját meg tudjuk állapítani.

Tekintsük az ECHO pályáját első közelítésben körnek, és jelöljük a két delelés közötti többletelfordulást β-val. Ekkor nyilvánvaló, hogy

$$T : 360^\circ = t : (360^\circ + \beta), \tag{1}$$

ahol T a keringési időt, t pedig a két delelés között eltelt időt jelenti.

Mi azonban β-t nem tudjuk meghatározni, csak a két egymást követő delelés rektaszcenzió különbségét, α-t. Feltételezve azonban, hogy β nem tér el nagyságrendileg α-tól, várható, hogy a

$$T_1 : 360^\circ = t : (360^\circ + \alpha) \tag{2}$$

képletből számított közelítő keringési idő segítségével meg tudjuk határozni egy rövidebb időszakra (pl. 1 napra) az ECHO keringéseinek számát. Várakozásunkat a következő napi észlelésünk igazolta, mert az ECHO kb. a várt időpontban delelt.

Ezek után nem kell mást tennünk, mint egyre pontosabbá váló adataink segítségével egyre hosszabb időtartamra megmondani a két megfigyelés közötti keringési számot, és a

$$T_n = \frac{360 \cdot t_n}{n \cdot 360 + a_n} \tag{3}$$

képletből folyamatosan megkapjuk az egyre pontosabbá váló keringési időket, ugyanis a rektaszcenzió különbség egyre inkább elhanyagolhatóvá válik az egyre növő $n \cdot 360^\circ$ mellett.

Háromhetes megfigyelési időnk alatt az is előfordult továbbá, hogy az ECHO kb. azonos rektaszcenzióval delelt kétszer. Ez a hibát méginkább lecsökkentheti.

7. Az egyik ECHO-n végzett mérésünknél a keringések száma 137, a másik ECHO-n végzett megfigyeléseinknél pedig 124 volt. (3)-ból számított keringési időinket érdemes összevetni az ENSZ által közölt adatokkal (Universum).

Az ENSZ adatai 1950-ből	A mi adataink 1962-ben
Jota 1 ..... 116, 2 perc	Jota A ..... $116{,}21 \pm 0{,}03$ perc
Jota 2 ..... 118 ,,	Jota B ..... $116{,}03 \pm 0{,}03$,,
Jota 3 ..... 118,2 ,,	(Jota az ECHO-k nemzetközi jele)
Jota 4 ..... 118,2 ,,	
Jota 5 ..... 118,3 ,,	

Az összehasonlításból látszik, hogy az általunk mért egyik ECHO mindenképpen gyorsabban kering, mint 1960-ban keringett. Valószínűnek látszik azonban, hogy 1960-ban mindkét ECHO 118 perces keringési idővel indult. A keringési idő megrövidülése azt jelenti, hogy az ECHO közelebb került a Földhöz.

8. Megpróbáltuk az ECHO *távolságát* közvetlenül is megmérni. Ez a parallaxis elve alapján történt.

Az egyik módszer szerint két nagy távolságban levő helyen egyszerre figyeltük meg az ECHO-t. A két helyen különböző volt az ECHO látszólagos rektaszcenziója és látszólagos deklinációja. Két ilyen méréssorozatot végeztünk. A két helyen mért látszólagos égi koordináták felhasználásával ki lehet számítani az ECHO távolságát a Földtől. A számítást még nem végeztük el.

A másik módszer a következőkből áll. Ismerjük a keringési időt. Az ECHO helyzetét egy megfelelő időpontban megállapítottuk. A keringési idő leteltével az ECHO pályájának újra ugyanazon pontján van, és ismét a horizont felett látható. Közben azonban a Föld elforgott, és éppen ezért az ugyanolyan földrajzi koordinátájú pontból, de a műhold pályájához képest mégis más pontból figyeljük meg az ECHO-t.

9. Befejezésül egy érdekes jelenségre hívjuk fel a figyelmet.

Az ECHO igen fényes mesterséges hold, fényessége eléri az első rendű csillagokét. Fényét a Naptól nyeri, amint a Föld árnyékába ér, elsötétül. A fogyatkozás megfigyeléseink szerint úgy következik be, hogy az ECHO először csak néhány másodpercre halványul el, utána 30–60 másodpercre visszanyeri teljes fényét, és csak azután tűnik el véglegesen a csillagok között.

Ezt a jelenséget háromszor figyeltük meg, hogy általános-e, nem tudjuk.

Jánossy István és Jánossy András
Budapest, Petőfi S. Gimn.

Megjegyzés: A dolgozatot a szerzők az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Ifjúsági Fizikai Körének pályázatára küldték be.