

Illés Erzsébet: Planetofizikai táblázatok ismertetése

Ahogy az űrkutatás eszközei egyre több bolygótestet (bolygót vagy holdat) vizsgáltak meg közelről a Naprendszerben, és továbbították méréseiket a Földre, egyre többen és többen váltak személyes ismerősünnké közülük. Nagyon érdekes volt számomra látni, hogy ugyanaz a jelenség több, a Napunktól különböző távolságban keringő – tehát nagyon különböző hőmérsékletű – testen is feltűnik. Viszont sokszor ugyanaz a jelenség nagyon különböző módon jelent meg egyik vagy másik bolygótesten. Ekkor – a nyolcvanas évek elején – kezdtem el szisztematikusan áttekinteni saját magam számára, hogy hogy is van ez?

Ennek az áttekintő munkának egyik velejárója volt, hogy a tudományos dolgozatokban megjelent újabb és újabb adatokkal kezdtem kiegészíteni egy korábban az irodalomból vett táblázatot a bolygók adataira vonatkozóan, s ahogy egyre újabb és újabb ismeretekhez jutottunk, egyre több oszloppal egészíthettem ki az eredeti táblázatot. Olyan oszlopokkal, amelyek a felszín korára, anyagára, a légkörök létre és összetételére, a felszínen esetleg meglévő folyadékokra, a mágneses terekre, a vulkanizmusra és más geológiai aktivitásra vonatkozó adatokat tartalmaztak. Közben újabb sorok is jöttek hozzá, ahogy egyre több bolygótest vált személyes ismerősünnké, amikor 1986-ban az Uránusz, majd 1989-ben a Neptunusz mellett is elhaladt a Voyager 2 szonda.

Azóta is folyamatosan, mindig kiegészítem ezt a táblázatot, ha bármi újabb vagy pontosabban meghatározott adatot találok az olvasott tudományos publikációkban. Az adatok természetesen különböző pontosságúak, ezért nem azonos számú számjegyet tartalmaznak az oszlopok. Ahol bizonytalan feltételezésen alapul a számolás, ott : jelzi az adat bizonytalanságát. Az adatokat nem illesztettem egymáshoz, mert nem tudhatom sokszor, hogy melyik az eredeti mérés, és melyik a leszármaztatott. És én természetesen nem törekedtem arra, hogy felülbíráljam a publikációkban szereplő adatokat. Az egyes állomásokat a fejlécben szereplő dátum jelzi. Most a tizenkettediknél tartok, amelyet a 2002 májusi dátum jelez. Közben egyre több lett az adat, egyre nehezebb egyben áttekinteni, ezért mára már 3 részre vágtam a táblázatot. És kiegészítettem egy negyedikkel azokról a bolygószondákról, amelyek mérései megalapozták ezt a személyes megismerkedést. Ebben a negyedik táblázatban a Holdunk szondái nincsenek is felsorolva.

A három táblázat első része (**Planetofizikai adatok I.: BOLYGÓK**), ahol a Föld a viszonyítási alap, a bolygókat és a 2000 km átmérőjűnél nagyobb hold-testeket tartalmazza. Összehasonlításként a Nap is szerepel. Itt kaptak helyet a bolygótestek mágneses terére, magnetoszférájára vonatkozó információk is.

A második rész (**Planetofizikai adatok II.: HOLDAK**) olyan sok oszlopot tartalmaz, hogyha kinyomtatom, már csak két részben lehet elhelyezni: HOLDAK/a és HOLDAK/b. Ebben Naprendszerünk összes ismert holdja szerepel (ez a szám 64-ről 91-re ugrott 1999-2000-ben az észleléstechnika ugrásszerű javulása miatt). Itt a holdak felfedezéskori jelzése és későbbi nevei is szerepelnek, hogy akármelyikkel hivatkoznak rájuk az irodalomban, azonnal tudni lehessen, hogy melyikről van szó. Továbbá itt szerepelnek a felszín korára és anyagára vonatkozó információk, meg hogy van-e az égitestnek légköre, óceánja, poláris sapkája, mágneses tere, kötött-e a bolygó körüli forgása (vagyis mindig ugyanazt az oldalát fordítja-e bolygója felé), és hogy gömb vagy szabálytalan alakú-e a hold. Ebben a táblázatban is helyet kaptak összehasonlításként a bolygók és a Nap, és itt a mi Holdunk méreteihez hasonlítom a bolygótesteket.

A harmadik rész (**Planetofizikai adatok III**) a ~ 400 km-nél nagyobb, szilárd felszínnel rendelkező bolygótesteket tartalmazza átmérő szerint rendezve, ahol légkör, folyadék, vulkáni tevékenység vagy más geológiai aktivitás nyomát találták. Itt szerepelnek a légkör vagy a folyadék anyagára vonatkozó információk is. Kérdőjel jelzi a táblázatban, ha valahol várják valamely tulajdonság előfordulását, de a mérések azt még nem erősítették meg. Meglepő, ami ebből a táblázatból is látszik, hogy a nagyobb geológiai aktivitás nem csupán a bolygótest méretétől függ, ahogy azt korábban feltételezték. Ezt ugyanis két dolog nagyon erősen befolyásolja. Az egyik az, hogy az óriásbolygók holdrendszerében mozgó hold rezonáns helyzetbe került-e, vagy elliptikus pályáról fékeződött-e le körpályára (mint pl. a Neptunusz Triton holdja), a másik az, hogy a holdon

uralkodó hőmérséklet valamely jég vagy egzotikus jegek keverékének megolvadására és krio-vulkanizmusára lehetőséget ad-e. Az előbbi körülmény ugyanis nagyon erős árapályfűtést eredményez az óriásbolygók óriási tömege miatt, amely egy hold belsejének részbeni vagy egészbeni megolvadását és annak következtében geológiai aktivitást (vulkanizmust, tektonizmust) okozhat még akkor is, ha a holdba a keletkezésekor belegyült radioaktív elemek mennyisége nem elég a hold megolvasztására (csak erre a fűtésre gondoltak korábban, mint a geológiai aktivitás hajtóerejére). Az utóbbi körülmény pedig lehetővé teszi, hogy sokkal alacsonyabb felszíni hőmérsékletek mellett is olvadék tudjon képződni. Pl. az ammónia-víz keverék mintegy 100 fokkal alacsonyabb hőmérsékleten olvad, mint a tiszta víz. A Halley üstökös spektroszkópiai méréseinek újraértelmezése pedig megmutatta, hogy az üstökösök harmadik, leggyakoribb illó anyaga a metilalkohol. Akkor pedig az Uránusz és Neptunusz holdak anyaga is tartalmazhat metilalkoholt, hiszen a Halley üstökös a Neptunusz távolságában keletkezhetett. A metilalkoholból pedig, hacsak egy kicsi is hozzákeveredik az ammónia-víz keverékhez, nagyon sűrű „láva” lesz az egyébként híg folyós víz-ammónia keverékből. A víz, víz-ammónia „lávák” a Jupiter és Szaturnusz holdrendszerében, a víz-ammónia-metilalkohol „lávák” pedig az Uránusz és Neptunusz holdrendszerében dominálnak. Ez a két járulékos körülmény okozza azt, hogy a Földtől, mint legnagyobb kérges testtől elindulva az átmérővel nem folyamatosan csökken a geológiai aktivitás.

Térjünk rá arra, hogy a táblázatok fejlécében szereplő feliratok mit is takarnak.

Planetofizikai táblázatok I: BOLYGÓK

Név: a bolygótest neve

Keringési idő a Nap körül: földi napban illetve földi évben, mint egységben

Sziderikus keringési idő: ennyi idő kell ahhoz, hogy a bolygótest a csillagokhoz képest ugyanoda térjen vissza a pályáján

Szinódikus keringési idő: ennyi idő kell ahhoz, hogy a bolygótest a Földről nézve a Naphoz képest újra ugyanolyan helyzetbe kerüljön (ugyanolyan fázisba, pl. újhold-fázisba)

Naptól mért távolság (egység: millió km és Csillagászati Egység = közepes Föld-Nap távolság = 150 millió km)

közepes távolság, aphéliumbeli (Naptól legnagyobb távolság), és perihéliumbeli (Naphoz legközelebbi) távolság is szerepel.

A Földtől mért maximális és minimális távolság Csillagászati Egységben

A beeső napsugárzás erőssége a földi közepeshez viszonyítva, és a pályaexcentricitás miatt a saját közepeshez képest mennyire csökken le aphéliumban, illetve nő meg perihéliumban

Tömeg: grammban és földtömegben, mint egységben

Méret: átmérő, egyenlítői sugár (R_e) és poláris sugár (R_p) km-ben

Lapultság: J_2 és $(R_e - R_p)/R_e$ illetve $R_e - R_p$

Sebességek: szökési sebesség a bolygó felszínén, és a közepes pályamenti sebesség km/s-ban

Sűrűség: g/cm³-ben

Sziderikus rotációs periódus: a bolygótestnek a csillagokhoz képesti körbefordulási ideje földi napban, illetve óra-perc-másodpercben.

Pályahajlás a földpálya (ekliptika) síkjához fokban

A Nap-körüli pálya excentricitása: ez a holdak esetében a bolygójuk pályaexcentricitását jelenti

Az egyenlítő hajlása a pálya síkjához

A mágneses dipól helyzete:

tengelyének hajlása a forgástengelyhez (fokban),

É-i pólusa melyik féltekére esik, és

centrumának mekkora a távolsága a bolygó tömegközéppontjától (km-ben és bolygósugárban)

A mágneses momentum erőssége gauss/cm³-ben

A felszíni mágneses térerő gaussban (a közepes érték mellett utalás van a dipól aszimmetrikus elhelyezkedéséből adódó helyi változásra is)

A magnetoszféra orrtávolsága bolygósugarban: azt a távolságot adja meg nagyságrendileg a bolygót a Nappal összekötő egyenes mentén, ahol a bolygó mágneses tere miatt a napszélben létrejön egy lökéfront

Utalás a bolygó magnetoszféráján belül mozgó holdakra, amelyek zavart kelthetnek a magnetoszférában, illetve amelyek elszenvedői lehetnek a bolygó-magnetoszféra folyamatainak:

A legtávolabbi reguláris hold távolsága bolygósugarban és km-ben és a hold neve

A magnetoszférán belül mozgó nagyobb holdak nevei

Megfigyeltek-e

villámlást a bolygótest légkörében

magnetoszféra működésére utaló jeleket a bolygótest környezetében:

részecskegyorsítást, ami öbölháborgásra (substormra) utal, sarkifényt (aurorát) és plazmaszférát (a bolygó körüli zárt erővonalrendszer felségterületén a mágneses erővonalak mentén mozgó töltött részecskéket)

Mekkora a részecskesűrűség a plazmaszférában

Mekkora teljesítmény hagyja el a bolygótestet (wattban megadva) aurora-fénylés illetve rádiósugárzás formájában.

Planetofizikai táblázatok II: HOLDAK

Az égitestek nevei mellett mindig megadom azt a jelzést vagy más nevet is, amit az újonnan felfedezett holdak ideiglenesen kaptak. A név-oszlop előtti felfedezési sorszámot szintén névként szokták használni (római számmal) azon bolygó kezdőbetűje után, amely körül kering a hold. Például a Jupiter Io nevű holdját II-el, a Leda nevű holdját JXIII-al is jelölik néha.

A felfedezés fejlécű oszlop a *felfedezés évét* és a *felfedező nevét* tartalmazza. Az újabban több tagot számláló kutatócsoportok által felfedezett holdaknál már nem fér el az összes név, ilyenkor a felfedezést bejelentő publikációban szereplő első szerző neve és az *et al.* jelzi, hogy sok felfedezőről van szó.

A **P** *sziderikus keringési periódus* a központi égitest körüli körbejárás idejét adja meg, amikor is a csillagokhoz képest ugyanoda ér vissza az égitest a pályáján. Ez holdak esetében a bolygó körüli mozgásra, bolygók esetében a Nap körüli mozgásra vonatkozik.

Az **a** *a központi égitesttől mért közepes távolság*. Itt is holdak esetében a bolygó körüli pályára, bolygók esetében a Nap körüli pályára vonatkozik. Tehát a távolságot a holdak esetében a saját bolygó sugarában, illetve km-ben, a bolygók esetében a Nap sugarában, illetve km-ben adom meg.

Az **i** *inklináció* a pályasík hajlását adja meg fokban a központi test egyenlítő síkjához képest.

Az **e** *excentricitás* a központi égitest körüli pálya lapultságát jellemzi.

A **T** *hőmérséklet* három oszlopot tartalmaz.

ΔT *becsült adat a bolygópálya excentricitása miatt bekövetkező besugárzásbeli különbség következtében létrejövő hőmérséklet különbséget jellemzi. Ez a holdak esetén a bolygójuk pályaeccentricitása miatt bekövetkező hőmérsékletváltozást jelenti természetesen, mert a bolygópálya excentrikussága miatt kap különböző mennyiségű napfényt a felszínük.*

Ugyancsak becsült adat a *vizuális albedóból* meghatározott felszíni hőmérséklet is. A mért hőmérséklet természetesen még sok égitest esetében nem áll rendelkezésre.

Viszont, ha volt külön *nappali és éjszakai* mérés, akkor mindkettőt szerepeltetem.

Az **M** *tömeg* és a **D** *átmérő* grammban illetve km-ben, továbbá Hold-tömegben illetve Hold-átmérőben van megadva, hogy könnyebben lássuk, és rácsodálkozhassunk, hogy a mi Holdunknál mennyivel kisebb testek szerepelnek a geológiailag aktív testek között.

A **ρ** *mért sűrűség* g/cm³-ben van megadva.

A **g** *becsült érték*, a felszíni gravitációt adja meg a földi felszínihez viszonyítva.

Az **m** *vizuális fényesség* mért érték, és magnitúdóban van megadva.

Az *A albedo* mért érték, és nem minden esetben határozták meg. Azt jellemzi, hogy a felszín a ráeső fénynek hány százalékát veri vissza. A szén 3-4%, a tiszta jég vagy a fehér felhők 40-60% albedójúak.

A *fotózás távolsága* azt a legkisebb távolságot adja meg, ahonnan a szondák a fotókat készítették.

A *legjobb felbontás* a felszínről készített fotók közül a legjobb térbeli felbontású fotóét adja meg.

Ez nem feltétlenül a legközelebről készült fotó felbontása, mert egyrészt egy szonda is használhatott több, különböző felbontású műszert a fotózáshoz, másrészt a második, harmadik generációs szondák műszerei nagyobb távolságból is készíthettek jobb felbontású képeket.

A *felszíni relief* a mérések alapján a bolygótest felszínén a legmagasabb és a legmélyebb helyek közötti magasságkülönbséget adja meg km-ben.

A *felszín kora és összetétele* oszlopban szintén csak mért adatok vannak. A felszín korát a becsapódásos kráterek számából becsülték annak feltételezésével, hogy a becsapódó testek fluxusa nem nagyon különbözött a mi Holdunk környezetének fluxusától. A becsapódásos kráterek alapján meghatározott relatív kort tudniillik csak a Hold esetében tudták eddig még radioaktív kormeghatározással abszolút korrá átszámolni, máshonnan ugyanis még nem hoztak vissza vizsgálati anyagot.

Az utolsó előtti oszlop plusz vagy mínusz jellel jelzi, hogy a megfigyelések szerint van-e *légkör, óceán, poláris sapka, mágneses tér* vagy *kötött forgás*. Ha hiányzik a plusz vagy mínusz, akkor nincs mérési adat. Ha kérdőjel van, akkor még bizonytalan, hogy létezik-e az illető égitesttel kapcsolatban a jelenség.

Az utolsó oszlop a mérések alapján azt jelzi, hogy *gömb alakú* vagy *szabálytalan alakú-e* a test. Ha hiányzik a jel, akkor nem találtam az irodalomban adatot.

A **kivastagítás** mindenütt azt jelzi, hogy meglepő, nem várt az az adat vagy jelenség annál a bolygótestnél.

Planetofizikai adatok III:

A ~ 400 km-nél nagyobb, szilárd felszínű bolygótestek planetofizikai áttekintése.

A „planetofizikai” a geofizikai kifejezést általánosítja a Naprendszer bolygótestjeire. A szilárd felszíneken látható nyomok, a légkörök és a „folyadékszférák” (itt a földi hidroszféra elnevezést általánosítottam, de nevezhetném „likvidoszférának” is) adatait tartalmazza ez a táblázat. Készítéskor a szilárd felszíneket illetően a tudományos publikációkban olvasottak alapján próbáltam általános áttekintést kapni – s most adni – arra vonatkozóan, hogy a különböző jelenségek melyik bolygótestnél fordulnak elő a felszíneken (ezt az illető bolygótest nevének rövidítésével jeleztem), illetve melyiknél nem (ezt mínusszal jeleztem), illetve hol nem találtam rá megfigyelést (üres hellyel jeleztem).

A felsorolt jelenségek egy része arra utal, hogy az illető bolygótesten nem zajlik vagy zajlott geológiai aktivitás, csak a hűlés következtében bekövetkező kéregváltozások nyomai látszanak, mint pl. zsugorodás következtében bekövetkező ráncosodás (bolygószerke előforduló rátolódásos vetők), vagy a bolygótest belsejének fázisátmenete következtében létrejövő kéregtágulás (ha a főleg vízből álló belső megfagy – nagyobb térfogatot foglalván el – a kéreg felreped: globális repedésvölgy). Ugyancsak az aktivitás hiányát jelzi a sok becsapódásos kráter, amely ugyan a Naprendszerben mindenütt jelen van, de az ősi bolygószerke felületén nagyobb számban gyűjtögetődtek össze (kráterekkel telített-e a felszín vagy nem, van-e sokgyűrűs medence, óriási kráter, amely a korábbi nagy bombázási periódus emléke)

A jelenségek más része arra utal, hogy differenciálódott-e a test (a felszín egységes vagy nem; sugarak vagy haló van-e a becsapódásos kráterek körül; van-e repedésre utaló nyom, amely mentén a bolygótest belsejéből más anyag párolog ki, mint ami a felszínen van: kriksz-krakosz albedo alakzatok; vagy más anyag folyik ki a felszínre, mint ami a felszínen van: vulkáni kifolyásnyom, mare, gejzír, vulkáni hegy).

A jelenségek harmadik része pedig arra utal, hogy működnek-e a belső erők, van-e tektonika (széthúzó-, tágulás-nyom, globális repedésrendszer, gyúrt hegyek, kontinensek, globális lemezteknika)?

Nekem óriási élményt adott a táblázat keletkezésekor az a sok-sok felismerés, rácsodálkozás, amiben részem volt. Nagyon élveztem annak a másik 9 vázlatnak a keletkezését is, amelyekben szintén először csak magam számára tekintettem át a helyzetet. Itt összefoglaltam a Naprendszer bolygótestjeinek összeállításával kapcsolatos ütközések milyenségét, a bolygótestek fűtése-hűlése-kor a szilárd felszíneken *várható* nyomokat, a bolygótesteken *megfigyelt* nyomokat, a különféle bolygótesteken megfigyelt *vulkáni* működés nyomait, a különféle bolygótestek megfigyelt *légköri* jelenségeit, *folyadéknymait*, különféle *poláris sapkáit*, és megfigyelt *magnetoszféra*-folyamatait, illetve, hogy egy *bolygó* hol, hogyan, milyen folyamatokon keresztül *szól bele holdjainak fejlődésébe*, a *bolygógyűrűket*, és az űrszondák által már meglátogatott *kisbolygók* felszíni folyamatait. Ezt szintén több megállóval tettem, az elsőt 1990-ben publikáltam, majd később több alkalommal is előadtam az ELTE TTK Csillagászati Tanszékének speciál kollégiumán. Nagyon kívánom a tisztelt olvasóknak és táblázat-használóknak, hogy maguk is gondolkodjanak el a látottakon, és hasonló élményben legyen részük, mint az alkotónak volt!