

## A Titan új világa

A Szaturnusz körül keringő Cassini-űrszonda megkezdte fő célpontjának, a Titannek a vizsgálatát. Ennek okán az alábbiakban röviden áttekintjük, mit tudtunk korábban a Titanról, és mit sikerült eddig a Cassininak megfigyelnie.

A Titan a Naprendszer második legnagyobb méretű és tömegű holdja, mérete meghaladja a Merkúrét is. A hold belső szerkezetének modellje alapján a felszín alatt 75–100 km-ig „normál”,  $0,93 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű vízjég a fő kőzetalkotó. 75–100 km alatt az oldott ammónia miatt alacsony olvadáspontú, 200–300 km vastag folyékony víz-óceán lehet. Ez alatt nagy nyomású jég, illetve szilárd ammónium-hidrát réteg következik, még mélyebben pedig a szilikátos kőzetmag található, belsejében talán egy elkülönült, fémes vasmaggal.

A hold felszínét az átlátszatlan légkör miatt nehéz tanulmányozni. A Titan légköréhez kívülről érkező napfény közel százszor gyengébb, mint a Földnél, és annak is csak 10%-a éri el a felszínt, ahol a fő kőzetalkotó az itt uralkodó hidegben sziklaszilárd vízjég lehet. A légkörben megfigyelt metán a felszínről kaphat utánpótlást, ahol folyékony metán-etán tavak, tengerek lehetnek – bár ma egyre több modell etán-propán tengerekkel számol. Amennyiben a Titanon szabad felszíni szénhidrogén tavak, tengerek vannak, azokon a Földinél háromszor gyengébb szél is hullámokat hoz létre, amelyek aztán lassabban haladnak, mint bolygónkon.

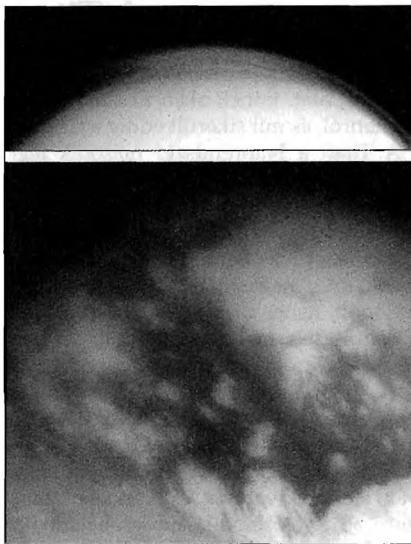
A Titan legérdekesebb szférája a sűrű nitrogénlégkör. A gázanyag tömege kb. tízszerese a földinek, a felszíni légnyomás 1,5 atmoszféra, a hőmérséklet 94 K. A légköri folyamatok mozgatórugói közt fontos a napsugárzás, utóbbi jelentős hányada a légkörben elnyelődik. A lassú tengelyforgás miatt nem várhatunk olyan zónáisan elkülönülő áramlási rendszereket, mint pl. az óriásbolygóknál, sokkal inkább – a Vénuszhoz hasonlóan – egyetlen hatalmas áramlási cellát, ami az egyenlítő környékéről a pólusokig és vissza szállítja a gázokat. A hold kissé elnyúlt pályájával kapcsolatban támadó árapály eredetű légnyomásváltozás 0,01%-a lehet az átlagos légnyomásnak. A légáramlásokról egyelőre nem sokat tudunk, de a megfigyelések alapján 100–300 km közötti magasságban dominánsan prográd, azaz a tengelyforgással azonos irányú cirkuláció lehet, többször 10 m/s átlagsebességgel. A Földről eddig magas északi szélességen sikerült max. 200 m/s sebességű sztratoszférikus jetáramlásokat megfigyelni. Az átlátszatlan magaslégköri fotokémiai szmog (l. alább) a téli féltékére áramlik. Emellett egyéb, négy éves ciklusú évszakos változások is mutatkoznak, amelyek forrása, hogy a Titan forgástengelye 27 fokok szöget zár be az ekliptikával. Látványos évszakos változás még a téli féltéke magas szélességű területein az erős éjszakai lehűlés miatt jéggé szilárduló légköri  $\text{C}_4\text{N}_2$ , amelyre, mint kondenzációs magokra, kicsapódhat az etán, metán, alacsony, troposzférikus ködöket okozva. Az évszakosan változó köd a légköri és a felszíni hőmérsékletet is befolyásolja.



A Titan légkörének egyszerűsített meridionális szelvénye, a nyáriról a téli féltékére irányuló gázáramlással, és az elkülönülő, magasszintű szmogréteggel

A légkörben a metán a Nap ultraibolya sugárzásától bomlik, a bomlástermékeiből kombinálódó hosszú molekulaláncú szénhidrogének alkotta átlátszatlan fotokémiai szmog keletkezik, utóbbiból két fő szintet sikerült azonosítani. A magasabb 300–400 km-en van, és látványosan elkülönül a légkör alacsonyabb átlátszatlan részétől. A metán gyakran túltelített az alacsonyabb légkörben és kikondenzálódik, ekkor felhőket képez. Eddig a poláris térség felett sikerült – az eredeti elgondolás szerint – metánból álló felhőket megfigyelni. Utóbbiak óras időskálán is változást mutatnak, azaz konvektív fellegek lehetnek, mint pl. a nyári gomolyfelhők a Földön. A bennük lévő cseppek feltehetőleg tholin magokból (különböző összetett szénhidrogénből álló vörös anyagból) és köréjük kondenzálódott metánból, esetleg egyéb anyagokból állnak. A felhők a földi megfigyelések alapján átlagosan  $16 \pm 5$  km magasan lehetnek a troposzférában. A légkörben a 20–40 km közötti magasságú zóna viszonylag tiszta, valószínűleg azért, mert az etán és metán egy része még alacsonyabban kicsapódik a tholin anyagú kondenzációs magvakra. A metán fotolízisével (elektromágneses sugárzás hatására történő átalakulásával) keletkező reakciótermék többsége kikondenzálódik a hideg (kb. 70 K-es) troposzféra felett, és aeroszolként lefelé ülepedik, süllyedése közben alacsonyabban egyéb anyagok csapódnak ki rá. Ha feltételezzük, hogy az így képződő reakciótermékek a múltban is a maival megegyező rátával keletkeztek, akkor az idők során kb. 100–600 m vastag réteg halmozódott volna fel belőlük a felszínen. A laboratóriumi vizsgálatok alapján PAH-ok (sokgyűrűs aromás szénhidrogének) is keletkezhetnek, amelyek aeroszolként szolgálhatnak. További érdekesség, hogy a légkörben képződő hosszú láncú szénhidrogénekbe nitrogén is beépülhet, egyszerű aminosavakat alkotva.

A Titan légkörében a kémiai átalakulások fő hajtómotorjai: 1. ultraibolya napsugárzás, ez 1000 km magasan hoz létre elektronsűrűség maximumot, főleg a magasszintű szmog kialakulásáért felel; 2. magnetoszférikus töltött részecske-bombázás a Szaturnuszról; 3. kozmikus sugarak, ezek 90 km magasan hoznak létre elektronsűrűség maximumot; 4. meteorok és ezekből visszamaradó kozmikus eredetű porszemcsék, ezek egyik forrása a szomszédos Hyperion, ahonnan kb. hasonló mennyiség érkezik, mint minden más forrásból együttvéve; 5. a légköri elektromos folyamatok is energiát szolgáltathatnak a kémiai reakciókhoz. A redukáló légkörben viszonylag könnyen mobilizálhatók az elektronok, mivel kicsi a befogásukra hajlamos atomok és molekulák aránya. A modellszámítások alapján a troposzférikus felhőkben könnyen halmozódhat fel a negatív töltés, ami felhő-felszín villámok formájában sült ki. Emel-



A Titan rétegzett, magasszintű szmogtakarója (fent), és a felszín egy 3000 km átmérőjű részlete (lent)

lett egyéb, sztatikus elektromos jelenségek is beavatkozhatnak a légkör kémiai folyamataiba; 6. a becsapódások szintén okozhatnak kémiai átalakulásokat a felszínen.

A sztratopauza viszonylag magasan, 250 km-en húzódik. Az ionoszféra főként ionizált nitrogénből és hidrogénből áll. A felsőlégkörből elszökő atomok és ionok (elsősorban a nitrogén és hidrogén) fontos forrásai a Szaturnusz magnetoszférájában lévő anyagoknak. Utóbbi semleges része kiterjedt tóruszt alkot a hold pályája mentén – hasonlóan például az Iónál megfigyelhetőhöz. A Titan egyébként összetett kölcsönhatásban áll a gyűrűs bolygó mágneses terével. Ez megvédi a napszáltól, bár a Titan ritkán a magnetopauzán kívülre is kerülhet. Hasonló védelem a Jupiter Galileiholdjainál is lehetett, de ott maga a Jupiter töltött részecskéiben gazdag magnetoszférája számolhatta fel a holdak ősi légkörét.

A Cassini 2004. október 26-án 1174 km-re haladt el a Titan mellett, a manőver legfontosabb 32 óra alatt a teljes szonda koordinátán mozgott, hogy merev felüglesztésű műszerei hiba nélkül kövessék a célt. Kiderült, hogy a korábban említett, déli pólus feletti kb. 1000 km átmérőjű felhőgyűrű a várakozásokkal ellentétben nem metánból áll. Az egyéb alkotóanyagok között szóba került az etán, ezzel azonban az a gond, hogy a felsőlégkörben zajló fotokémiai reakciók terméke, ahonnan lefelé ereszkedik, ezek a konvektív felhők viszont felfelé emelkednek. Egyelőre azt sem lehet kizárni, hogy a felhők még összetettebb szerves molekulákból, például polisztirolból állnak, hétköznapi nyelven különféle műanyagokból. De az is elképzelhető, hogy a felhők bár főként metánból vannak, a szemcséket emelkedés közben kicsapódó egyéb anyag vonta be – ezért nem látjuk a fő összetevőt.

A legvilágosabb és legsötétebb felszínformák albedója kb. 10%-ban különbözik egymástól. Bár még az sem biztos, hogy maga a felszín látszik-e a képeken, az albedointázatot nagyon hasonlított a 2-3 hónappal azelőtt látottakra – azaz valószínűleg stabil képződmény, nem pedig alacsony kód- vagy felhőtakaró része. A nagyobb, sötét alakzatokból az északi féltekén mutatkozik több, ezek gyakran az egyenlítővel kis szöveget bezáró irányba nyúlnak el. A legtöbb világos terület a 60. és 160. hosszúsági kör között helyezkedik el. Az előbb említetteknel kisebb sötét alakzatok egy része közel párhuzamosan elnyúlt képződmény – valószínűleg szél hozta létre őket, ami északnyugatról délkeletre fúj. A felszínformák vizsgálatánál probléma, hogy a sűrű légkör miatt nagyon sok a szórt fény, ezért gyengék az árnyékok, és alig sejthető a topográfia. Fontos, hogy becsapódásos kráterek egyáltalán nem látszanak a holdon, tektonikus eredetűnek feltételezett képződmények azonban mintha lennének – a felszín fiatal és aktív lehet. Az egyik legnagyobb kérdés, hogy a világos és sötét szerkezetek közül melyek a kiemelkedések és melyek a szénhidrogén tengerek – ezzel kapcsolatban nincs egységes vélemény.

A több száz felvétel mellett a radar egy 2000x120 km-es sávot is letapogatott a hold felszínén. A radar 5 és 10 ezer km-es távolságok között észlelt, egy vizsgált 400 km hosszú sávban a relatív magasságingadozás viszonylag kicsinek mutatkozott, nem haladta meg a 150 métert. A korábbi modellek szerint a felszín egyenetlen lehet, mivel az egyengető eroziós folyamatok kb. 400-szor gyengébbek a földiekénél, míg a tektonikus folyamatok nagyságrendileg csak 50-szor gyengébbek. A következő négy évben a Cassini 44-szer fogja a Titant megközelíteni, legszorosabban 956 km-re. A program kétségtelenül legizgalmasabb eleme a Huygens leszállása lesz, ennek részleteiről a remélhetőleg sikeres január 14-i landolás után számolunk be. A tervek szerint a berendezés a Xanadu névre elkeresztelt régiót célozza meg.

KERESZTURI ÁKOS