

AZ „ÉLŐ” EUROPA

A Galileo szonda képei bizonyítják, hogy az Europa jégburkának mélyén vízóceán rejtőzik. Hol van vajon ennek az óceánnak az energiaforrása? Cikkünkben nem csupán az Európát „éltető” árapály-fűtéssel ismerkedhetünk meg, hanem e hold furcsa oxigénlégkörével is.

Az Europa átmérője 3138 kilométer, nem sokkal kisebb a mi Holdunkénál (3476 kilométer). Sűrűsége $2,97 \text{ g/cm}^3$, ami arra utal, hogy főleg szilikátokból állhat, és tömegének csak 3 százaléka lehet H_2O . Ha ez szilikátokba van kötve, akkor egy 1981-es modell szerint a H_2O nem vastag rétegű, de ha a szilikátokból szabadult fel a víz, akkor ez akár 100 kilométer vastag víz- vagy vízjégréteg – hatalmas óceán – lehet a szilikáttest tetején. Utóbbi esetben – lényeges légkör hiányában – nyilván jégburok zárja le a mélybeli óceánt a bolygóközi tér felé. Földi szinképi mérések mindenestre azt jelezték, hogy a felszíni anyag 95 százaléka H_2O .

Vékony jégkéreg

Ha a jégréteg 30 kilométernél vastagabb lenne, akkor az óceán fenéig befagyyna, ezt 1983-ban számolta ki *Squyres, Cassen, Reynolds és Peale*. Ilyen vastag jégrétegben ugyanis már szilárd fázisú áramlás indulna meg, aminek következtében nagy mennyiségű hőt veszítene el a hold. (Az áramlások – amikor valami hatás beindítja őket – azért jöhetnek létre, mert a nagy nyomáson a víz-jég képlékennyé válik, mint ezt az antarktiszi és a grönlandi jég vagy a gleccserek is tanúsítják.) Az a tény azonban, hogy gyakorlatilag nincsenek nagyobb magasságkülönbségek a felszínen, arra utal, hogy az Europa óceánja nem lehet fenéig befagyva, hanem csak viszonylag vékony, 10 kilométeresnél nem vastagabb jégréteg van a tetején. E jégpáncél repedései,

rianásai lehetnek a Voyager-2 felvételein felfedezett sötét és világos *albedó*-alakzatok*.

A jégkéreg vékony voltát a Galileo-felvételek egyértelműen bizonyítják. A sok redő, repedés, újrafagyás, újrapedés, az összetöredezett jégkéreg, s az a tény, hogy a táblák „elúsztak” egymástól, kibillentek egymáshoz képest, mind-mind a mélybeli anyag áramlására utal. E jégréteg helyenkénti elvékonyodását jelzik a *dóмок* is a koronaszzerű, kerek alakzatokkal. Itt az alattuk lévő víz egy-egy *feláramlási helye* lehet. Hasonlóképpen árulkodó jelek az éles szélű, meglágyult, keskeny és hosszú területek. Ezeket szerintem a jégréteg alatt hosszan elnyúló olyan *felszíni melegáramlatok* okozhatják, mint amilyen például a Golf áramlás a Földön.

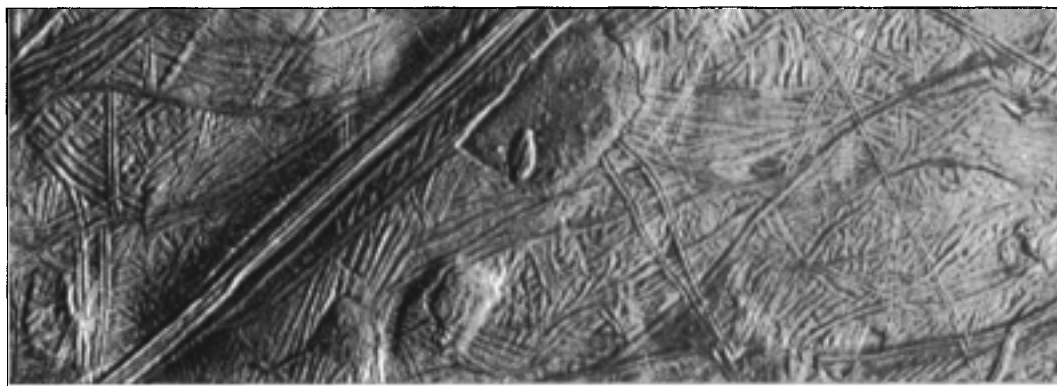
Egy teremnyi oxigén-„légkör”

1994-ben a Hubble űrtávcsővel oxigénlégkört találtak az Europa körül, igaz, csak nagyon ritkát. A szinképben a 130,4 és 135,6 nanométeres vonal semleges oxigénatomokra utal, de az uralkodó légköri összetevő a

kétatomos oxigénmolekula lehet. Ez a légkör annyira ritka, hogy ha az összes oxigént összenyomnánk, normál földi állapotban, vagyis 1 bar nyomáson és 20 Celsius-fokon csak 250 köbméter lenne. (Ez egy 2,5 méter magasságú, 10×10 méteres alapterületű helyiség légtere.) Mégis figyelemre méltó ez a légréteg, mert a Földön kívül a Naprendszerben az egyetlen égitest az Europa, ahol az oxigén lényeges légköri összetevő.

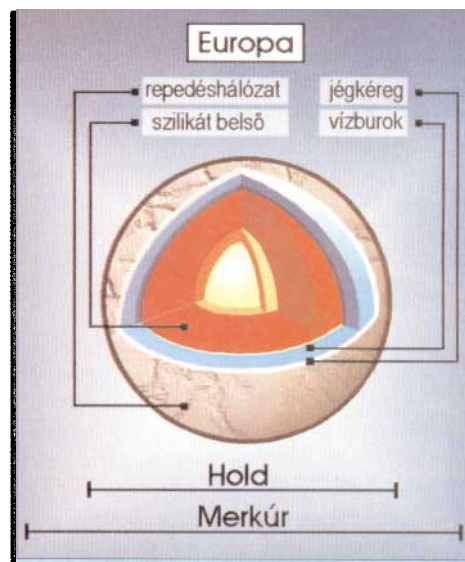
A légkörre utaló első mérési adatokat szintén sokkal korábban, 1978-ban kapták – a *Pioneer 10* ultraibolya fotométerével –, azonban akkor nem merték kimondani, hogy az Európának légköre van, mert a mért jelet az Io plazmafelhője is okozhatta. Honnan lehet az Európának légköre, amikor a felszíni 120 kelvines (mínusz 150 Celsius-fokos) hőmérséklet túlságosan alacsony ahhoz, hogy a jég szublimációja hozhatná létre? Már 1982-ben *R. E. Johnson* és munkatársai – labormérésekre alapozva, de elméleti megfontolások alapján – megbecsülték, hogy mennyi oxigént szabadíthatnak fel a Jupiter magnetoszférájában nagy sebességgel mozgó ionok, amikor becsapódnak az Europa jeges felszínére („ion-köpködés”). Azt találták, hogy 10^9 molekula hagyhatja el négyzetcentiméterenként és másodpercenként a felszínt. Ebből $2-3 \times 10^{15}$ /négyzetcentiméterenkénti oszlopsűrűség is létrejö-

EGY 10 KILOMÉTERES „LÉK” NYOMA LÁTSZIK E KÉP KÖZEPÉN FENN, AMELYEN BEFAGYÁS UTÁN KEREK FELPÚPOSODÁS, ÚGYNEVEZETT DÓM KELETKEZETT. A DÓMOK A MELEGEBB VÍZ FELÁRAMLÁSÁNAK A HELYEI LEHETNEK. A JOBBRA FERDÉN FELFELÉ FUTÓ GERINC KÉT OLDALÁN LÁTHATÓ SÖTÉTEBB SÁV A REPEDÉS MENTÉN FELTÖRT SÖTÉTEBB ANYAG KIFOLYÁSÁRA UTAL





EZEN A 40 KILOMÉTERSZER 75 KILOMÉTERES TERÜLETRŐL NAGYON ALACSONY NAPÁLLÁSBAN, „SÚRLÓFÉNYBEN” KÉSZÜLT FELVÉTELEN KÜLÖNÖSEN SZÉPEN KIRAJZOLÓDNAK AZ EUROPA ELENYÉSZŐ MAGASSÁGKÜLÖNBSÉGEI. AZ ÁRNYÉKHOSSZAKBÓL SZÁMÍTOTT LEGNAGYOBB DOMBORZATI KÜLÖNBSÉGEK SEM HALADJÁK MEG A 100 MÉTERT, A KISEBBEK ALIG 10 MÉTERESEK



AZ EUROPA MÉRETEI ÉS BELSŐ FELÉPÍTÉSE: A RÉGEBBI CSUPA VÍZJÉGKÉREG HE-
LYETT MA A VASTAG VÍZÓCEÁN-ELKÉPZELÉS
ÉL, ARÁNYLAG VÉKONY JÉGTAKARÓVAL

A 12 KILOMÉTERSZER 15 KILOMÉTERES TE-
RÜLETRŐL 2000 KILOMÉTER TÁVOLSÁGBÓL
KÉSZÜLT GALILEO-FELVÉTELEN A SZINTE ÁT-
TEKINTHETETLENÜL GAZDAG REPEDÉSREND-
SZER A GYORSAN VÁLTOZÓ BELSŐ FESZÜLT-
SÉGEK ÉS A RÉSZLEGES ÚJRAOLVADÁSOK
KÖVETKEZTÉBEN ALAKULT KI. LEOLVASHA-
TÓ AZ ESEMÉNYEK SORRENDJE: KÉT REPE-
DÉS KÖZÜL MINDEN ESETBEN AZ A REPEDÉS
A FIATALABB, AMELYIK ELMETSZETTE A MÁSI-
KAT. MIND A HÁROM BEMUTATOTT FELVÉTEL
1997. FEBRUÁR 20-ÁN KÉSZÜLT

het, ami nagyon jól egyezik az 1994-
ben a Hubble űrtávcsővel kapott
 $1,5 \cdot 10^{15}$ /négyzetcentiméteres osz-
lopsűrűséggel.

Mágneses ionszállítás

Johnsonék számításait 1996-ban *Ip*,
a Max Planck Intézet munkatár-
sa megismételte. Ő a fenti adatokat
megerősítette, de további érdekes le-
hetőségre is felhívta a figyelmet: el-
képzelhető, hogy a Jupiter magneto-
szférájában az Európán átmenő mág-
neses erővonalak mentén is ionáram
halad a Jupiter felé. (Ugyanúgy,

ahogy az Io vulkánjai miatt az Ion átmenő mágneses erővonalak mentén is tapasztaltak hasonlót.) Ezek az ionok az Europa semleges oxigénfelhőjének az ionizálásával állhatnak elő, és ahhoz, hogy a mért értéket megmagyarázzuk, 3-7 semleges oxigénatomot kell köbcentiméterenként feltételezni. Ez azt jelenti, hogy $2 \cdot 10^{27}$ atomnak kell az Európáról felszabadulnia másodpercenként. Összehasonlításként az Io teljes SO_2 gáz kibocsátására $5 \cdot 10^{28}$ molekulát kaptak másodpercenként, tehát az Europa még az Iohoz képest sem elhanyagolható ionforrás a Jupiter magnetoszférája számára. Ip egy egyszerű modellel kiszámolta, hogy az Europa és a Jupiter magnetoszférája

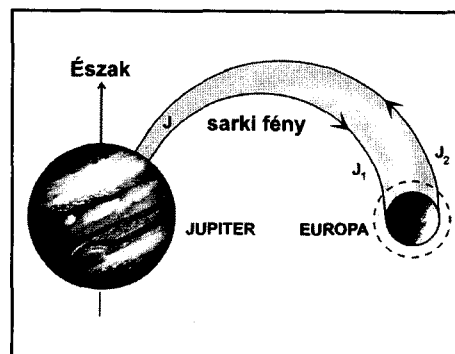
között egy Io-szerű kölcsönhatás $5 \cdot 10^5$ amper erősségű erővonalmenti áramot jelenthet, ami csaknem fele az Io-erővonalcsőben folyó áramnak.

Alkalmas életté?

Néhány dologban nagyon emlékeztet az Europa a Földre. Nem csak abban, hogy a felszíne a földi sarki óceánon úszó jégtáblákhoz hasonlít. Az is figyelemre méltó, hogy a repedései sok helyen olyanok, mint a Földön a tengeralatti hátságok repedésrendszere. De a legnagyobb hasonlóság az lenne, ha az Europa tengeraljzata is a lemeztektonika jellemző tulajdonságait mutatná. A víznek a lemeztektonikában betöltött kenőanyag szerepét illetően ugyanis nincs más, a Földhöz

hasonlítható égitest a Naprendszerben, csak az Europa. Ezért nagyon jó lenne, ha az Europa tengeraljzatát is sikerülne feltérképezni.

1980-ban két magyar kutató, *Almár Iván* és *Gánti Tibor* a tokiói Nemzetközi Asztronautikai Kongresszuson arról tartott előadást, hogy a Galileiholdakon, köztük az Európán, minden feltétel megvan egy Földtől független kolónia létrehozására, vagyis az életfeltételek meglétét már ők észrevették. 1988-ban aztán részletes elemzés jelent meg kifejezetten az



A NAGYON RITKA EUROPA-LÉGKÖR IONIZÁLÓDIK, S A JUPITERHEZ VEZETŐ „ERŐVONALCSŐ” FOLYAMATOSAN ELSZIPPANTJA AZ ÁLLANDÓAN TERMELŐDŐ OXIGÉNIONOKAT. A JUPITERRE BECSAPÓDÓ „EUROPA-SZÉL” OTT SARKI FÉNYT OKOZHAT, AKÁRCsak az IOÉ

Europával kapcsolatban arról, hogy van rajta óceán és ha abban a nyomás, a hőmérséklet és a kémiai feltételek megfelelőek, akkor biológiai tevékenység is lehetséges – akárcsak a földi óceánaljzatokon.

A Galileo szondával három Europa-megközelítést terveztek. Az első ketőn túl vagyunk teljes sikerrel. Először 1996. december 19-én 693 kilométerre, másodszor 1997. február 20-án 587 kilométerre közelítette meg a szonda a holdat. A harmadik megközelítésre 1997. november 11-én kerül sor, amikor 1124 kilométerre repül majd el a szonda a hold mellett. Ezt a megközelítést gravitációs mérések gyűjtésére is fel fogják használni, ami sokat segíthet a hold belső szerkezetének a tisztázásában. Nagyon reméljük, hogy addig még működőképes marad ez a sok vihart megért, de mégis csodálatos eredményeket szolgáltatató űrszonda.

DR. ILLÉS ERZSÉBET
(az MTA Csillagászati Kutató Intézete)

ÁRAPÁLYFÜTÉS

Az Io, az Europa és a Ganymedes úgy mozog a Jupiter körül, hogy erős kölcsönhatásban vannak egymással (rezonancia). Ez a rezonancia olyan excentricitást (lapultságot) hoz létre a pályákon, amely az óriási tömegű Jupiter mellett tetemes árapályfűtésnek teszi ki a holdakat. (Az árapályfűtés annál erősebb, minél közelebb van a központi test, a Jupiter.) Egy homogén holdban 3,5 g/köbcentiméter sűrűség és a mi Holdunkéhoz hasonló merevség esetén a radioaktív fűtésnek a háromszorosa szabadulhat fel árapályfűtés formájában. Így például a homogén Io középpontjában tízszer annyi hő szabadulna fel csak az árapályfűtés következtében, mint a mi Holdunk belsejében, s ehhez még hozzájön a radioaktív fűtés is.

Feltételezve, hogy az Europa kondritikus összetételű ősi anyagdarabok összeállásából keletkezett, a hold $2,97 \text{ g/cm}^3$ sűrűsége azt sugallja, hogy körülbelül 3 százalék H_2O épülhetett bele. Ha ez nincs hidratált szilikátokba kötve, hanem szabadon helyezkedik el a gravitációsan szeparálódott bolygótestben, akkor mintegy 100 kilométer vastag réteget alkothat a szilikátbelső tetején. Vajon víz vagy jég formájában van-e az jelen?

Ha az Europa homogén, szilárd, szilikátos test lenne, akkor a mostani excentricitás miatt fellépő árapályenergia-termelődés nagyjában a fele volna annak, ami a radioaktív fűtés miatt felszabadul. Tehát még ebben az esetben sem lenne elhanyagolható az árapályfűtés, bár arra kevés volna, hogy egy vastag jégköpenyt megolvasszon. Ha azonban bármilyen okból – például a bolygókeletkezés során bekövetkező hecsapódások hőjétől – a H_2O köpeny már eleve olvadt állapotban volt, akkor az ebben a homogén testben fellépő árapály-

fűtés már elegendő lenne, hogy megakadályozza a teljes köpeny megfagyását. Az árapályfűtés ugyanis a vékony szilárd kéregben jóval nagyobb, mint egy homogén szilárd testben. Az árapály-deformáció erősebb egy alá nem támasztott kéreg esetén, még akkor is, ha az árapályerők azonosak.

A felszabaduló teljes árapály-energia a mostani excentricitás esetében a radioaktív fűtés hússzorosa, ha a kéreg el tudja vezetni a „bent” keletkezett hőt. Ha azonban a jégkéreg valaha is eléggé vastag volt, ez a „vezetési egyensúly” nem áll fenn. Ugyanis szilárd fázisú konvekció indulhatott be a jégkéregben, amely gyorsan elszállította a belső hőt, és akkor a jelen excentricitás már nem elég ahhoz, hogy az árapályfűtés megakadályozza a jégkéreg vastagodását: a Naprendszer korához képest nagyon rövid idő alatt fenéig befagyta az óceán.

Mindazt jelenti, hogy a vízköpenyt megtartani csak úgy volt képes az Europa, ha pályájának a lapultsága sohasem csökkent tartósan a mostani érték alá, mivel újraolvasztani már nem tudna egy fenéig befagyott kérget. Ha pedig a pályaeccentricitás a mostani érték körül volt az Europa történetének legnagyobb részében, akkor mindmáig olyan egyensúlyi helyzet állt fenn, amelynél egy vékony (10 kilométernél nem vastagabb) jégkéregben az árapályerők hatására felszabadított hő vezetéssel jutott ki a felszínre. Az árapályfűtés eközben mindvégig erősen meghaladta a radioaktív fűtést. Arról, hogy az Európán valóban éppen ez a lehetőség valósult meg, végül is a Galileo nagyfelbontású képei mondták ki a döntő szót: a vékony jégkéreg alatt a jég-takaró vastagságánál jóval mélyebb vízóceán rejtőzik az Európán.