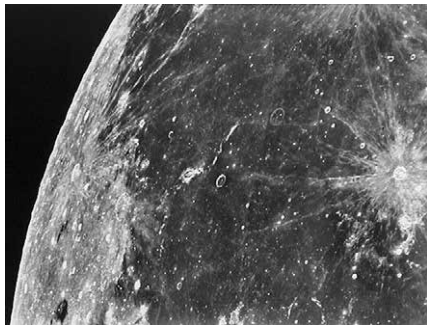


A holdi „papírsárkány” rejtélye

A Hold felszínét kisebb távcsővel pásztázva az Oceanus Procellarum (Viharok Óceánja) területén egy furcsa, a felszínhez képest feltűnően fényes, „papírsárkányra” emlékeztető alakú érdekes alakzatra lehetünk figyelmesek. A Reiner Gamma elnevezésű, mintegy 70–80 km kiterjedésű alakzat holdrajzi (szelenografikus) koordinátái: nyugati hosszúság 59 fok, északi szélesség 7,4 fok. Kezdetben erősen lepusztult kráternek tartották, de a holdszondák közelfelvételei és mérései után kiderült, hogy másról van szó. (A környező holdfelszínhez képest jóval fényesebb albedóalakzatot „albedópamacsnak”, holdi „örvénynek” is szokás nevezni.)

Korábban már több holdszonda, mint például a szovjet Zond-6, a NASA Lunar Orbiter szondái, majd az Apollo-úrhajók, a Clementine-szonda, valamint az ESA SMART-1 holdszondája is nagy felbontású közeli képeket készített a Reiner Gamma vidékéről. Az igazi rejtélyt az Apollo-15 és -16 által holdkörüli pályára állított kis holdszondák, a PSF-1 és -2 szubszatelliták által 1971–1973 között végzett mágneses-tér- és plazmamérések jelentették, amelyek alapján elkezdtek tüzetesebben is vizsgálni a Hold ezen térségét. Ugyanis a két szonda a Reiner Gamma fölött viszonylag erős, mintegy 10–15 nanotesla (nT) helyi mágneses teret mért, ami egyike a holdi mágneses anomáliáknak. Egyébként a Reiner Gamma felett mért mintegy 10 nT erős helyi mágneses tér beleesik a Naprendszerben a bolygóközi tér 0,1–10 nanotesla tartományába. Annak érzékelésére, hogy milyen mértékű mágneses térről van szó: a Föld mágneses mezeje 50 fok szélességen 20 mikrottesla, egy nagy patkómágnesé 1 millitesla, egy napfoltban 0,25–10 T is lehet. A Reiner Gamma területén tehát egy mágneses anomália van, amit nem várnánk, mivel égi kísérőnknek



A Hold Oceanus Procellarum (Viharok Óceánja) elnevezésű területén található a Reiner Gamma, amely papírsárkányra emlékeztető alakjával hívja fel magára a figyelmet (a kép közepétől balra). A jobb szélén látható sugársávú kráter a mintegy 32 km átmérőjű Kepler (CLA: Consolidated Lunar Atlas, LPL, Arizonai Egyetem, 1960-as évek)

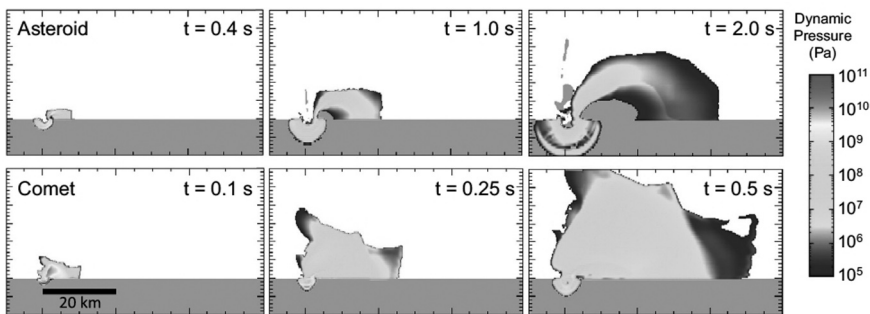
ma már gyakorlatilag megszűnt a globális mágneses mezeje.

A légkör nélküli kis égitestek felszínét akadálytalanul bombázzák a napszél és a kozmikus sugárzás részecskéi, ami hosszú



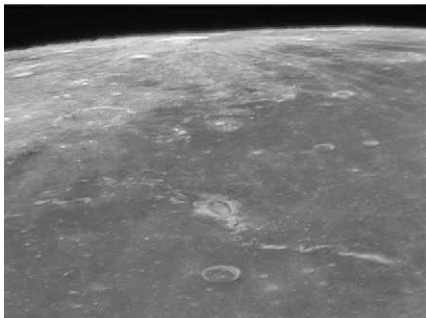
A Reiner Gamma és közvetlen holdfelszíni környezete jól látszik Békési Zoltán 2012. augusztus 13-án, 200/1000 mm-es Newton-távcsővel készített felvételén.

A „papírsárkány” közelében levő nagyobb kráter a Reiner-kráter, a Reiner Gammától jobbra levő két feltűnő kráter közül a nagyobbik a Galliaei. A kép alján levő nagy kráter a Marius



A Reiner Gamma alakzat vagy egy kisbolygó (fent) vagy egy üstökös (lent) becsapódásának következtében alakulhatott ki. Az üstökösbeecsapódás valószínűbb, ugyanis a becsapódó test és a Hold kibotlott anyaga a becsapódás helyén összefüggő lerakódást hoz létre, – olyat, amilyen a Reiner Gammánál megfigyelhető. Kisbolygó becsapódásakor a kiszóródott anyag a becsapódás helyétől távolabbra kerül, illetve nagyobb felületen érintkezett a nagyobb nyomású anyag a felszínnel. A skála a nyomást mutatja, az időpontok pedig a becsapódás után eltelt időt (Megan Bruck Syal és Peter H. Schultz munkája nyomán)

idő alatt a felszín elsötétedését okozza. Azonban a Reiner Gamma erősebb lokális mágneses tere megakadályozta, hogy töltött részecskék elérjék a holdfelszín, így az „albedópamacs” nem tudott elsötétedni, „öregedni”, ezért látjuk világosabbnak a környezetéhez képest.

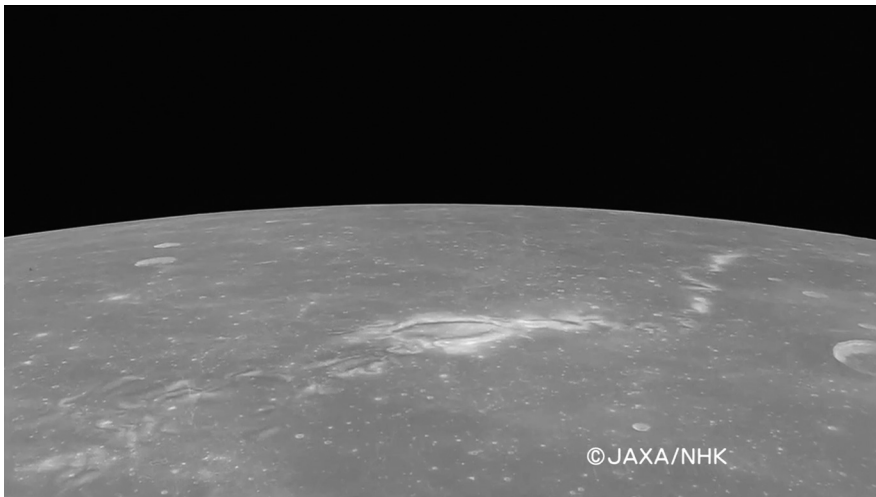


Kurucz János 2013. július 28-án készítette ezt a felvételt a Reiner Gammáról saját építésű 195/1300-as Newton-reflektorával és egy Scopium webkamerával

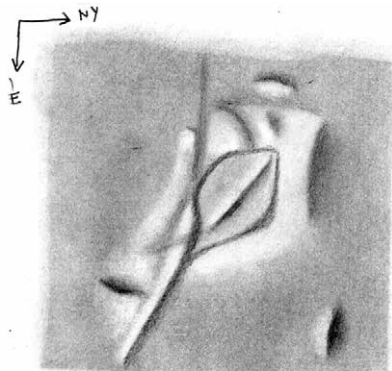
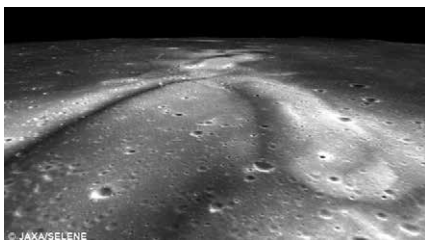
Még 1980-ban a Reiner Gamma felett mért mágneses tér első magyarázatai között Lon L. Hood (Hold és Bolygókutató Laboratórium, Arizona Egyetem, Tucson) és Peter H. Schultz (Brown Egyetem, Providence, Rhode Island) felvetette, hogy egy üstökös becsapódása következtében jött létre az itteni mágneses tér.

Most Peter H. Schultz és Megan Bruck Syal, a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium, (Kalifornia) munkatársai újra elővették az üstökösbeecsapódási hipotézist, és modern módszerekkel, részletes modellekkel hasonlították össze egy kisbolygó és egy üstökös Holdba csapódásának következményeit. Eredményük szerint egy üstökös becsapódásakor a Hold felszínén szétszóródott anyag a becsapódás helyén hatékonyan rögzül be a felszínbe a mágneses térrel együtt, de egy aszteroida estében más történik: a becsapódás helyétől távolabbra kerül és szétterül az anyagfelhő. A különbségnek több oka van. Az üstökös kiterjedt gáz- és porkómával rendelkezik, illetve egy kisbolygónál nagyobb a tipikus pályabeli sebesség, sőt retrográd pályán szinte szembetalálkozik a Holddal és nagyobb relatív sebességgel történhet meg az ütközés. Így üstökös becsapódásakor a plazmafelhő és átmeneti (tranzien) mágneses tér keletkezésére nagyobb az esély. A keletkezett plazmafelhő mágneses tere a plazmává alakult holdfelszín anyagába befagy.

Azonban nemcsak üstökösbeecsapódással lehet a Reiner Gamma kialakulását magyarázni. A japán SELENE holdszonda fedélzeti radarja (LRS) 2007-2009 közötti mérései alapján Yuichi Bando, Atsushi Kumamoto



A Reiner Gamma közeli látványa a holdkörüli pályán keringő japán SELENE (Kaguya) holdszonda HDTV kamerájával (fent) és nagyfelbontás kamerájával (Terrain Camara, TC) készült közeli felvételen (lent). (JAXA/Kaguya-1)



és Norihiro Nakamura japán kutatók szerint vagy a holdfelszínhez közeli, mintegy 75 méter mélységig terjedő gyengébb mágneses forrás, vagy nagyobb mélységben, mintegy ezer méter mélyen levő erős mágneses forrás okozhatja a Reiner Gamma területén az erős helyi mágneses teret. A SELENE holdszonda radarmérései alapján a japán kutatók nem állítják, hogy a Reiner Gamma mágneses anomália becsapódás következtében jött volna létre, csak megállapítják a helyi mágneses tér forrásának lehetséges mélységét.

Tehát az elképzelés szerint egy üstökös becsapódása következtében jöhetett létre a Reiner Gamma, de a holdkörüli pályáról végzett radarmérések szerint akár nagyobb mélységben is lehet a helyi mágneses ano-

Ezt a rajzot Kárpáti Ádám készítette a Reiner Gammáról még 2009. január 8-án, a 100/1000-es TAL-refraktorával 222x-es nagyítást használva

mália forrása. Mindenesetre a modellezés és a mérések szintjén közelebb kerültünk a holdi „papírsárkány” rejtélyének megfejtéséhez, de még ma sincs megnyugtató válasz az albedóalakzat kialakulására.

A Reiner Gamma kialakulásának lehetséges magyarázatait tárgyaló legújabb tudományos közleményeket az Icarus szakfolyóirat közölte.

Tóth Imre

Lehetséges magyarázat a Hold örvényeire

Régóta ismertek Holdunk sötétebb és világosabb vonalakkól, területekből kirajzolódó örvényszerű képződményei. A legismertebb Reiner Gamma nevű alakzathoz hasonlóbból több mint száz található meg égi kísérőnkön. A Naprendszerben csak a Holdon megtalálható, több tíz km-re elnyúló, csoportokban és magányosan is előforduló alakzatok keletkezése egyelőre rejtély. Az eddigi megfigyelések alapján két dolog bizonyos. Egyrészt helyük minden esetben egybeesik azokkal a régiókkal, ahol a Hold mára gyakorlatilag eltűnt ősi mágneses tere a kéregbe fagyva fennmaradt – bár nem minden, hasonló mágnességet mutató területen figyelhetők meg örvények. A területek ugyanakkor a jelek szerint a környezetnél sokkal kevésbé öregedtek. A Hold felszínén ugyanis a különféle kozmikus hatások (elsősorban a napszél, valamint a mikrometeoritok folyamatos bombázása) fizikai és kémiai folyamatokat indítanak el, amelyek révén a felszín anyaga fokozatosan sötétedik.



A legismertebb holdi örvényalakzat, a Reiner Gamma (NASA LRO WAC)

Keletkezésükre lényegében három elméletet állítottak eddig fel a szakemberek. Az első szerint mind az örvények, mind a mágneses tér üstökösök ősi becsapódása során keletke-

zett. Másik lehetőség szerint a már meglévő mágneses térben a mikrometeoritok becsapódására a felszínből kibodódo apró törmelék szemcséi saját mágnességüknek megfelelően rendezőnek el, így alakítva ki a sötét és világos régiók mintázatát. Általánosan elfogadott mindemellett, hogy a jelen levő mágneses mező valamilyen módon megóvjá ezeken a területeken a felszínt, ide a napszél részecskéi nem juthatnak be, így a terület nincs kitéve az anyag elsötétedését okozó folyamatoknak.

A legnagyobb probléma ezen utolsó feltételessel kapcsolatban: hogyan képes a földinél mintegy háromszázszor gyengébb mágneses tér megóvni a felszínt a napszél nagyenergiájú részecskéitől?

A megoldást az új számítógépes modell jelentheti, amelyben a kutatók figyelembe vették a mágneses térrel kölcsönható, a napszelet alkotó töltött részecskék által gerjesztett elektromos teret is. A modell szerint a folyamat során több száz volt feszültség keletkezik, amely elektromos tér már képes lelassítani a napszél részecskéit. Úgy tűnik, az LRO legújabb megfigyelései alátámasztják a modell adatait – ugyanakkor nem zárják ki más modellek létjogosultságát sem. Az ultraibolya és extrém ultraibolya tartományokban készített felvételek megerősítik, hogy a mágneses és elektromos térrel védett területek környezetüknél valóban kevésbé erodálódtak.

Természetesen a kérdés legegyszerűbben helyszíni mérésekkel lenne eldönthető. Ilyen mérések elvégzéséig a kutatók a modell továbbfejlesztésén dolgoznak: meg kívánják vizsgálni, hogyan reagál a mágneses tér különféle erősségű napszélre, különösen különböző holdi napszakokban (amikor a napszél beesési szöge is eltérő). Ezen felül pontosan szimulálni szeretnék a holdi felszín öregedésében közrejátszó kémiai és fizikai folyamatokat. Az holdi nappal idején végzett LRO-megfigyelések zajszintjének csökkentésére módosítani fogják a LAMP (Lyman Alpha Mapping Project) műszerének beállításait is.

NASA LRO, 2016. április 29. – Molnár Péter