

# A HOLDFELÜLET KIALAKULÁSÁRÓL (ZERINVÁRY SZILÁRD EMLÉKÉRE)

Írta: MOHÁCSI BÉLA

A gyorsan kihűlő holdanyagból az oldott gázok forrászerűen távoztak el. A felszabaduló gázok egy része óriási buborékok alakjában a felszínre került, és létrehozta a jellegzetes gyűrűshegyeket, bizonyos körülmények között a sugárrendszert is. A Hold anyagának egy részén, annak eltérő tulajdonsága miatt, a feltörő buborékok nem hagytak nyomot. Így keletkeztek a síkságok.

## Bevezetés

A Hold felszínének alakzatait a következőképpen csoportosítják:

1. *A tengerek.* Mélyebben fekvő, általában kör alakú vidékek. Környezetüknél sötétebbek. Szintjük aránylag egyenletes, krátereket csak elvétve találunk rajta. Kiáradt lávaárnak vagy porral megtöltött medencéknek vélik.

2. *A kráterek* a holdfelszín legjellegzetesebb alakzatai. Átmérőjük elérheti a 200 km-t is. A kráterek keletkezésével foglalkozó elméleteket két csoportra oszthatjuk aszerint, hogy azok eredetét belső vagy külső eredetű okokkal akarják megmagyarázni. A vulkanikus tevékenységre vezető magyarázat Galilei-ig nyúlik vissza, utána Nasmyth, Carpenter, Pickering és mások követték ezt az utat. A vulkanikus elmélet azonban már a múlt század közepén nem volt meggyőző. A kráterképződést kozmikus eredetű okokkal igyekeztek megmagyarázni. Procotor a Holdra zuhant meteorokban talált magyarázatot. Később Wegener is erre az álláspontra helyezkedett. Legutóbb Hoyle dolgozta fel ezt az elméletet. Több kutató igyekezett a jellegzetes alakú krátereket porábrákkal, homokba csepegtetett vízcseppekkel megmagyarázni. Az utóbbi időben a meteor becsapódási elméletek kerültek az előtérbe. Amikor legutóbb Alter megfigyelése alapján Kozirev és Wilkins az Alphonsus kráterben bizonyították a belső kitörést, megint felvetődött a holdkráterek vulkanikus eredetének a lehetősége.

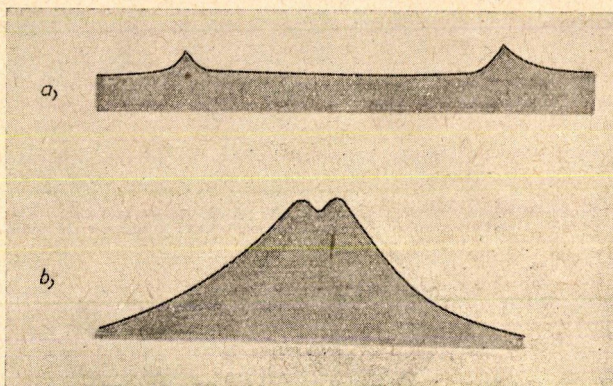
3. *A sugaras szerkezet.* Egyes kráterekből sugárzódnak szét, hosszuk több ezer kilométer is lehet, magasságuk néhány méter. Minden más felszíni képződményen áthatolnak. Fejlett sugárrendszere van a Tycho, Kepler és Kopernikus krátereknek. Hoyle szerint ezek a később becsapódott meteorok által összenyomott és felrobbant gáznak a nyomai.

4. *A lánchegységek* meredek összefüggő toronyszerű képződmények sorozatai, magasságuk eléri a 8—9 km-t is.

5. *Rianások.* A Holdat keresztül-kasul szelő szakadékok, hosszuk több ezer kilométer is lehet.

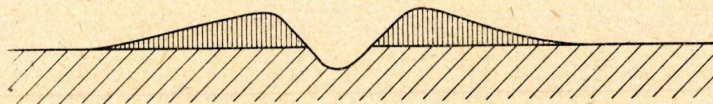
## A kráterek vulkanikus eredete

A kráterek eredetének okát a Holdban keressük. Legkézenfekvőbb magyarázat GALILEIÉ, aki a krátereket vulkanikus tevékenység eredményének vélte. SCROPES szerint [1] vulkanikus tevékenységről beszélünk akkor, ha egy kihűlő égitest nyílásaiból szilárd, folyékony vagy gáznemű anyag tör fel. A területi és hasadékos kitörések a kráterképződés szempontjából nem jöhetnek tekintetbe. A csatornás kitörések, melyek nagy mennyiségű lávát, törmeléket meg



1. ábra. a) Holdkráter, b) Földi vulkánkúp metszete

gázt hoznak a felszínre, és megteremtik a jellegzetes vulkáni kúpot, már több figyelmet érdemelnek. Azonban a földi vulkánkúpoknál a hegy tömegének a kráter átmérőjéhez viszonyított aránya nagy érték, a holdkrátereknél ugyanez az érték kicsi (1. ábra). Ha elfogadjuk azt a józan kijelentést, hogy a kráteren keresztül tör fel az égitest belső anyaga, akkor nyilvánvaló: a Hold belsejéből olyan anyag került a felszínre, amely a nagy kráter ellenére is kis kép-



2. ábra. Gázkitörés eredményeként létrejött földi maar képződmény

ződményt hozott létre. A Földön is találunk olyan vulkáni képződményeket, melyek a kráterhez képest szegényes tömegű körsánccal rendelkeznek (2. ábra). Németországban maar-nak nevezik ezeket a tavakkal kitöltött képződményeket, melyek a Sváb Alpok területén, Skóciában, Mexikóban és Japánban is előfordulnak. Ezeket gázkitörés hozta létre. Valószínű, hogy a Hold jellegze-

tes kráterein is csak gáz törhetett fel, mert csupán ez a folyamat hozhatott létre olyan kis formaváltozást.

NASMYTH a kráterek keletkezését csatornás gázkitöréssel magyarázta meg. Ez indokolja, de nem eléggé, azt a tényt, hogy a gyűrűshegyek miért rendelkeznek viszonylag kis tömeggel. SCHINDLER 1911-ben kiadott munkájában [2] a holdkrátereket elpattant hólyagoknak vélte. Meggyőződésének igazolására nedves deszkára megömlesztett betűfémet öntött. A keletkezett gőzök hólyagokat húztak a fémolvadék felületére. Az elpukkanás után visszamaradó nyomok a fényképek tanúsága szerint olyanok, mint a holdkráterek. Ennek ellenére SCHINDLER gondolata mind ez ideig nem kapta meg a megérdemelt megbecsülést. A következőkben megkíséreljük a holdkráterek keletkezését a Hold felszínére bugyogó óriási elpattant buborékok alapján megmagyarázni.

Ismeretes, hogy a fémolvadékok lehülésekor az oldott gázok a felszínre törő buborékok alakjában eltávoznak. Ha a gáznak nincs ideje eltávozni, akkor az öntvény belsejében lyukakat képez. Nyomás alatti kristályosodáskor az öntvényben nem képződnek pórusok [3]. A földi eredetű láva a fémolvadékokhoz hasonlóan jelentős mennyiségű gázt tartalmaz feloldva, amelynek nagy része lehüléskor eltávozik. Ha a kihülés gyors, a megszilárduló láva hólyagos lesz (7. kép).

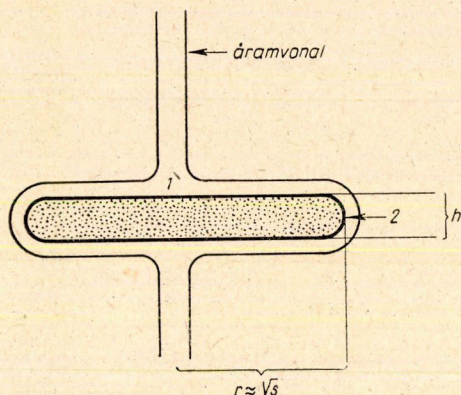
A Hold fajsúlya arra enged következtetni, hogy anyaga a földi magmához hasonló anyagból állott. A magma gázzal átitatott szilikát összetételű olvadék [4]. Izzónfolyós állapotból a Hold olyan gyorsan hűlt ki, hogy az olvadékban levő gázok nem tudtak párolgás és belső diffúzió útján eltávozni, hanem a kihülő magmában gázbuborékok keletkeztek. A gyors lehülés oka a Hold kis térfogata, a felszabaduló és eltávozó gázok hőlekötése volt. A lehűlt olvadék instabil állapotban tartalmazta a gázokat feloldva. A felszín közelében, ahol a hidrosztatikus nyomás ezt nem gátolta meg, az olvadékban levő idegen zárványokon megindult a gázkiválás. Nagy mélységben az ott uralkodó nyomás miatt ez a folyamat nem mehetett végbe. Itt a buborékképződést esetleg a Holdba zuhant (és 100—200 km mélységre lehatolt) meteorok által odajuttatott kis buborékok indíthatták meg.

A lejutott buborék a ráható felhajtóerő miatt felfelé törekedett. Növekedését két tényező idézte elő: a hidrosztatikus nyomás csökkenése és az olvadékból kiváló gázmennyiség.  $z_0$  mélységből a felszínre kerülő buborékban levő gázmennyiség tömege legyen  $m$ . Ekkor a BOYLE—MARIOTTE törvény alapján a  $p$  nyomású gázbuborék térfogata

$$(1) \quad V = \frac{m R T}{p M},$$

ahol  $R$  az egyetemes gázállandó,  $T$  a gáz hőmérséklete Kelvin fokokban,  $M$

pedig a gáz molsúlya. Mivel a buborék alsó pontjában a hidrosztatikus nyomás nagyobb, mint az oldalsó pontokban, a buborék ennek következtében széttáplalni igyekszik. Ezt a felülről ható torlónyomás még jobban elősegíti. A széttáplálásnak az olvadék  $\sigma$  felületi feszültsége szab határt. A felszín közelébe érkező nagy buborékot durva közelítésként tekintünk korong alakúnak  $s$  alapterülettel és  $h$  magassággal (3. ábra). A buborék körül kialakuló áramlást



3. ábra. A nagy buborék alakját  $h$  magasságú és  $s$  alapterületű korong alakkal közelítjük meg

olyannak vesszük, amely közelítésképpen mind stacionárius, mind turbulens áramlásnak felfogható. A buborékra ható nyomáskülönbség az 1- és 2-es pontok között BERNOULLI törvénye alapján\* (az áramlást stacionáriusnak véve)

$$(2) \quad \Delta p = \frac{1}{2} \rho v'^2 + \rho g \frac{h}{2}.$$

$\rho$  a közeg sűrűsége,  $v'$  a közeg buborékhoz viszonyított relatív sebessége a 2-es pontban,  $g$  a nehézségi gyorsulás. Mivel a buborék nagyon lapos, a 2-es pontban a  $v'$  jóval nagyobb lesz a buborék  $v$  emelkedési sebességénél. A 3. ábráról leolvasható, hogy a két sebesség aránya közelítésképpen

$$(3) \quad \frac{v'}{v} = \frac{2\sqrt{s}}{h}.$$

A buborékalak egyensúlyának feltétele az, hogy a virtuális munka nulla:

$$\Delta p s \delta h - \sigma \delta s = 0,$$

amiből

$$\frac{\delta s}{\delta h} = - \frac{\Delta p s}{\sigma}.$$

Másrészt  $s = V/h$ -ből  $V$  állandó érték mellett (a felszín közelében  $V$ -t állandónak tekinthetjük, mert innen a gázok nagy része már eltávozott és így nincs tömegfelvétel, a hidrosztatikus nyomásváltozást pedig elhanyagoljuk a torlónyomás mellett)

$$\frac{ds}{dh} = - \frac{V}{h^2},$$

\* Az 1-es pontban a sebesség nulla

és így

$$\sigma = h \Delta p.$$

(2)-t és (3)-at figyelembe véve

$$(4) \quad \sigma = h \left( \frac{1}{2} \rho' \frac{4s}{h^2} v^2 + \frac{1}{2} \rho' g h \right).$$

A buborékre ható felhajtóerőt a ráható ellenállási erővel tesszük egyenlővé [5]. Az áramlást itt turbulensnek vesszük. A négyzetes ellenállási törvény alkalmazása célszerű, mert az örvények keletkezéséből származó ellenállás a Stokes-féle ellenállást sokszorosan felülmúlja.

$$(5) \quad sh\rho = cs \frac{1}{2} \rho' v^2.$$

A  $c$  ellenállási együtthatónak az értéke csak olyan buborékokra lenne kicsi, melyek nem hagynak maguk után örvényeket. A korong alakja nem ilyen. Nitrobenzolban áramoltatott nagy buborékok esetén  $c = 1,25$  volt, mi  $c = 1$  értékkel számolunk.

A buborékot a környező anyag felületi feszültsége tartja össze. Az áramló közeg magával ragadja a buborékban levő gáz részecskéit úgy, hogy a  $\rho'$  sűrűségű gáz felgyorsul a buborék  $v$  emelkedési sebességére. A buborék akkor esik szét, ha a pulzációkból eredő nyomás meghaladja a görbületi nyomást [6]. Ha tehát bekövetkezik az, hogy

$$\frac{1}{2} \rho' v^2 = \frac{\sigma}{\sqrt{s}},$$

akkor a buborék szétesik. A buborék nagymértékű lapossága miatt a 2-es pontban a közeg  $v'$  sebessége jóval nagyobb a buborék emelkedési sebességénél, ezért (3)-mal a buborék szétesésének feltétele

$$(6) \quad \frac{1}{2} \rho' \frac{4s}{h^2} v^2 = \frac{\sigma}{\sqrt{s}}.$$

Hátra van még az (1)-ben szereplő  $m$  meghatározása. A felfelé áramló buborék közelítőleg annyi olvadékkal érintkezett, amennyi az  $s$  alapterületű és  $z_0$  mélységű kúpban van. Ha a buborék közelében eláramló magma 1 köbcentiméteréből  $\delta$  cm<sup>3</sup>  $\rho'$  sűrűségű gáz válik ki, akkor

$$(7) \quad m = \frac{1}{3} s z_0 \delta \rho'.$$

Az olvadékban oldott gázok mennyisége a hőmérséklet növekedésével erősen nő [3]. Tehát ha lehetőség van a gáz kiválására, akkor  $\delta$  a lehűléssel csökken. Ha a gázok kiválására nincs lehetőség (pl. a Hold belsejében, ahol nagy a nyomás és nincs gázfázis), akkor a hőmérséklet csökkenésével a ki-

váltható gázmennyiség növekedik. Így idővel a Hold bármely pontjában, vagy egy adott időpontban a mélység változásával — mindkettő hőmérsékletváltozással jár —  $\delta$  csökkenhet [vagy növekedhet (természetesen egy korlátan belül)]. A tárgyalás kvalitatív jellege nem engedi meg, hogy  $\delta$ -nak a mélységtől, az időtől és a túlhűtöttségétől való függését meghatározhassuk.

Ismeretes, hogy a földi eredetű láva jelentős mennyiségű gázt ( $\text{NH}_3$ , Cl, HCl,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{H}_2\text{O}$  stb.) tartalmaz elnyelve, aminek egy része kihűléskor eltávozik, más része a kőzetben marad. Figyelemre méltó az a törvényszerűség, amely szerint a földi vulkanikus eredetű kőzetek gáztartalma függ a geológiai koruktól. F. v. WOLF szerint [7] az újkeletű láva gáztartalma kevés,  $0,6 \text{ cm}^3$  jut a kőzet egy köbcentiméterére. A harmadkori láva már annyi gázt tartalmaz, amely térfogatának 1,98-szerese. A prekambriumból származó eruptív kőzeteknél ez az érték 5,31, az archaikumból származó kőzeteknél 11,89. Ez azt mutatja, hogy idővel a magma gáztartalma csökkent. A kőzetbe zárt gáztartalom nyilván alsó korlátja a magma gáztartalmának. Archaikumban tehát a magma gáztartalmának nagyobbnak kellett lenni  $\text{cm}^3$ -ként mint  $10 \text{ cm}^3$ . Megengedhető ez a feltevés a Hold izzónfolyós állapotára is, annál is inkább, mert fajsúlyát tekintve, az hasonló a földi eruptív kőzetek fajsúlyához. A Holdra nézve a  $\delta = 10 \text{ cm}^3$  normál állapotú gázt fogadjuk el.

Tekintetbe véve azt, hogy  $V = s \cdot h$ , az (1), (4)–(7) egyenletekből  $\sqrt{s} \approx r$ -re a

$$(8) \quad (\sqrt{s})^3 - \frac{\delta RT}{3gM} \frac{z_0}{z} (\sqrt{s})^2 - \frac{1}{216} \frac{\rho g}{\rho'} \left( \frac{\delta \rho' RT}{\rho g M} \frac{z_0}{z} \right)^3 = 0$$

egyenletet kapjuk, ha a felszín közelébe érő buborékban uralkodó és az (1)-ben szereplő  $p$  nyomást egy  $z$  mélységben uralkodó sztatikus nyomással tesszük egyenlővé, vagyis, ha  $p = \rho \cdot g \cdot z$  (a Hold anyagát közelítésképp összenyomhatatlan folyadékknak vesszük).

Legyen  $z = 10 \text{ km}$ . Ekkora mélységnek megfelelő sztatikus nyomásnál a buborék a felszint már  $10 \text{ km}$ -nél jobban megközelítette a torlónyomás létezése miatt, tehát a buborék gyakorlatilag a felszínre ért.  $\rho'$ -t a  $10 \text{ km}$  mélységű sztatikus nyomáshoz tartozó értéknek vesszük. Az egyesített gáztörvény alapján

$$\rho' = \frac{pM}{RT} = 0,12 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3},$$

ha  $p = \rho \cdot g \cdot z$ ,  $z = 10^6 \text{ cm}$ ,  $R = 8,3 \cdot 10^7 \text{ erg fok}^{-1}$ , a hőmérsékletet  $T = 1,5 \cdot 10^3 \text{ K}^\circ$ -nak, a gáz molsúlyának megfelelő értéket pedig  $M = 30 \text{ g}$ -nak vesszük. Az itt felsorolt értékeket helyettesítjük be (8)-ba is. Továbbá a nehézségi gyorsulás  $g = 1,6 \cdot 10^2 \text{ cm sec}^{-2}$ ;  $\rho = 3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ; a normál állapotú  $\delta = 10 \text{ cm}^3$ -t át kell számítani  $T = 1,5 \cdot 10^3 \text{ K}^\circ$ -nak megfelelő,  $p = \rho \cdot g \cdot z$  nyomáshoz tar-

tozó térfogattá az egyesített gáztörvény alapján:

$$\delta = \frac{V_0 p_0 T}{T_0 p} = \frac{10 \text{ cm}^3 \cdot 10^9 \text{ din} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \text{ fok}}{273 \text{ fok} \cdot 3 \text{ g/cm}^3 \cdot 1,6 \cdot 10^2 \text{ cm/sec}^2 \cdot 10^6 \text{ cm}} = 10^{-1} \text{ cm}^3.$$

A táblázat a különböző  $z_0$  mélységek esetén megadja a (8) egyenlet numerikus megoldását  $\sqrt{s} \approx r$ -re.

$z_0$	$\sqrt{s} \approx r$
100 km	90,2 km
150 km	133 km
200 km	178 km

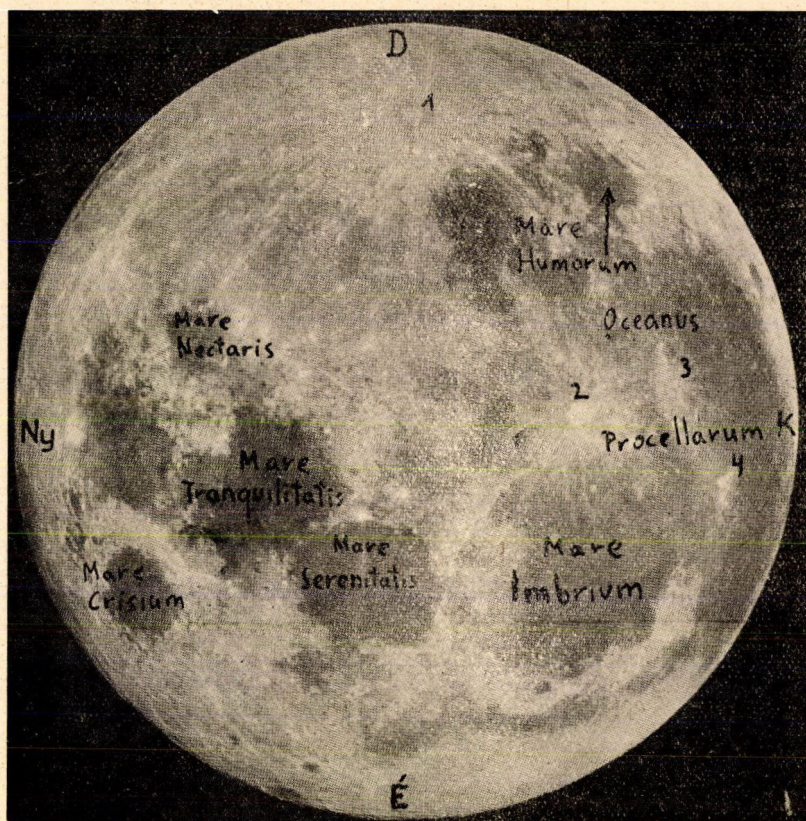
Ha 150 km mélységben keletkezett egy kis buborék, akkor a megadott állandókkal keletkező buborék sugara jó egyezésben van a GRIMALDI és CLAVIUS kráterek 237 és 230 km-es átmérőivel, mivel (6) alapján a legnagyobb térfogatú buborékot számítottuk ki.

Sem a buborék  $h$  magassága, sem  $v$  emelkedési sebessége nem függ a buborék  $r$  sugarától.  $z_0 = 150$  km-nél  $h = 5$  km és  $v = 10 \text{ m sec}^{-1}$  adódik. A holdanyag felületi feszültségére a  $\sigma = 10^{15} \text{ din/cm}$  értéket kapjuk. Ezt a szokatlanul nagy értéket csak a belső magmára nézve fogadjuk el, és itt azzal magyarázhatjuk meg, hogy a lehűlés és a nagy nyomás miatt közelkerülő részecskék közötti kohéziós erők megnövekedtek. Másrészt a magma buborékot határoló felszíne a párolgás miatt jobban lehűlt, ami a buborék felületén feszültségnövekedést hozott létre. A Hold viszonylag normális körülmények között levő felszínén a felületi feszültség nem, vagy legalábbis nem sokkal haladhatta meg pl. a fémolvadékok  $10^3 \text{ din cm}$  nagyságrendű felületi feszültségét. Bár közvetlenül a megszilárdulás előtt ez jelentősen meg is változhatott.

A felszínre elerő buborék az olvadékon úszó már megszilárdult salakot az útjából félretolja és ebből alakul ki a jellegzetes kistömegű gyűrűshegy (4. ábra). A hegy tömege a korong alakú buborék felett levő kőzetből keletkezik, tehát közelítőleg

$$r^2 \pi d = 2r \pi a \frac{m}{2},$$

ahol  $r$  a korong sugara,  $d$  a szilárd kőzet vastagsága,  $a$  a gyűrűshegy alapjának szélessége,  $m$  a hegy magassága. Innen a hegy térfogatának megméréseivel kiszámítható, hogy a krátert milyen vastagságú holdkéreg átszakításánál hozta létre a feltörő buborék. Ezek szerint az *Alphonsus* kráter akkor keletkezett, amikor a szilárd kőzet vastagsága  $d = 2$  km volt. Hasonlóan vékony kérget kellett áttörni pl. az *Arsachel*, *Ptolemaios* (2. kép), *Platon*, *Cassini*, *Archimedes* (5. kép) krátereket létrehozó buborékoknak. A gyűrűshegy töme-

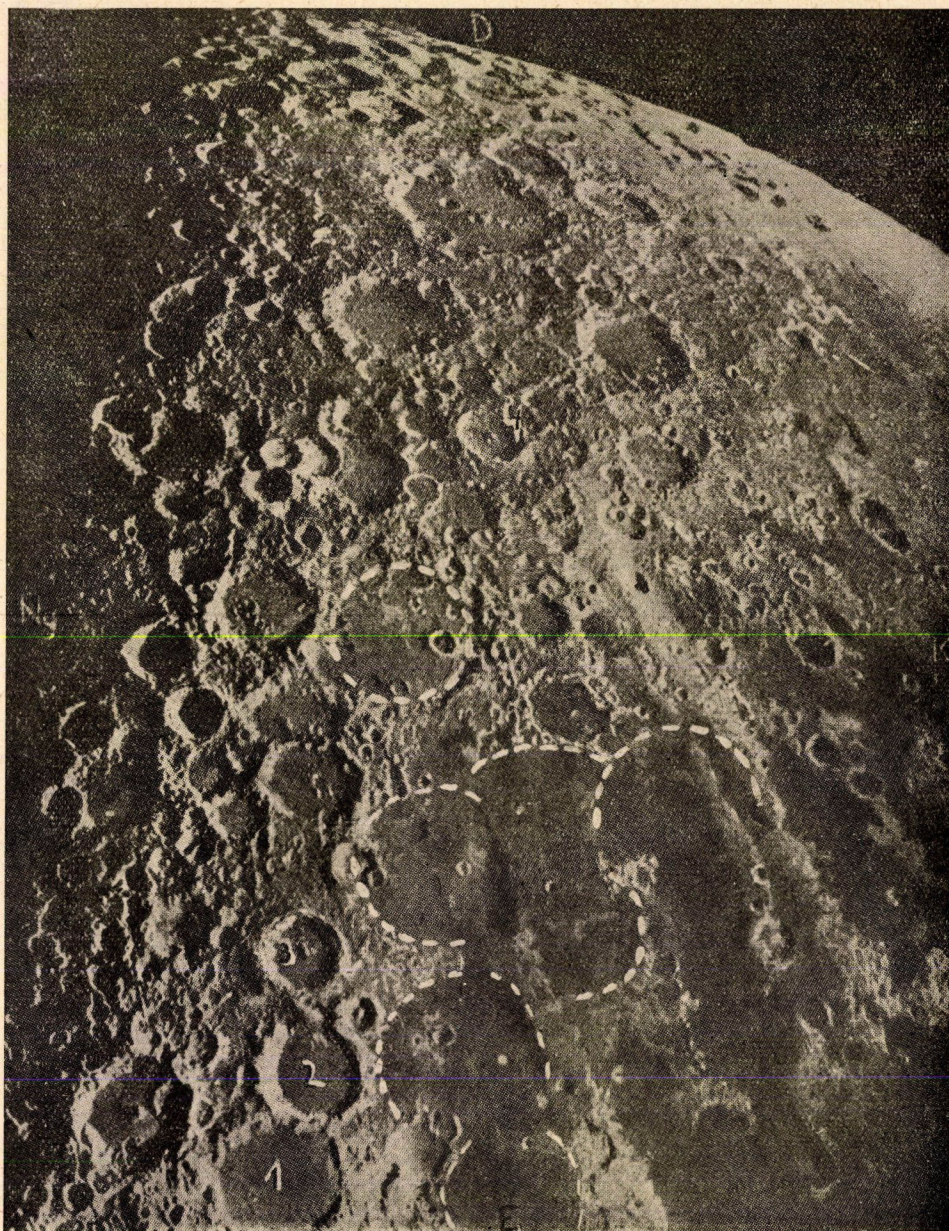


1. kép. 1. Tycho kráter, 2. Kopernikus kráter, 3. Kepler kráter, 4. Aristarchos kráter

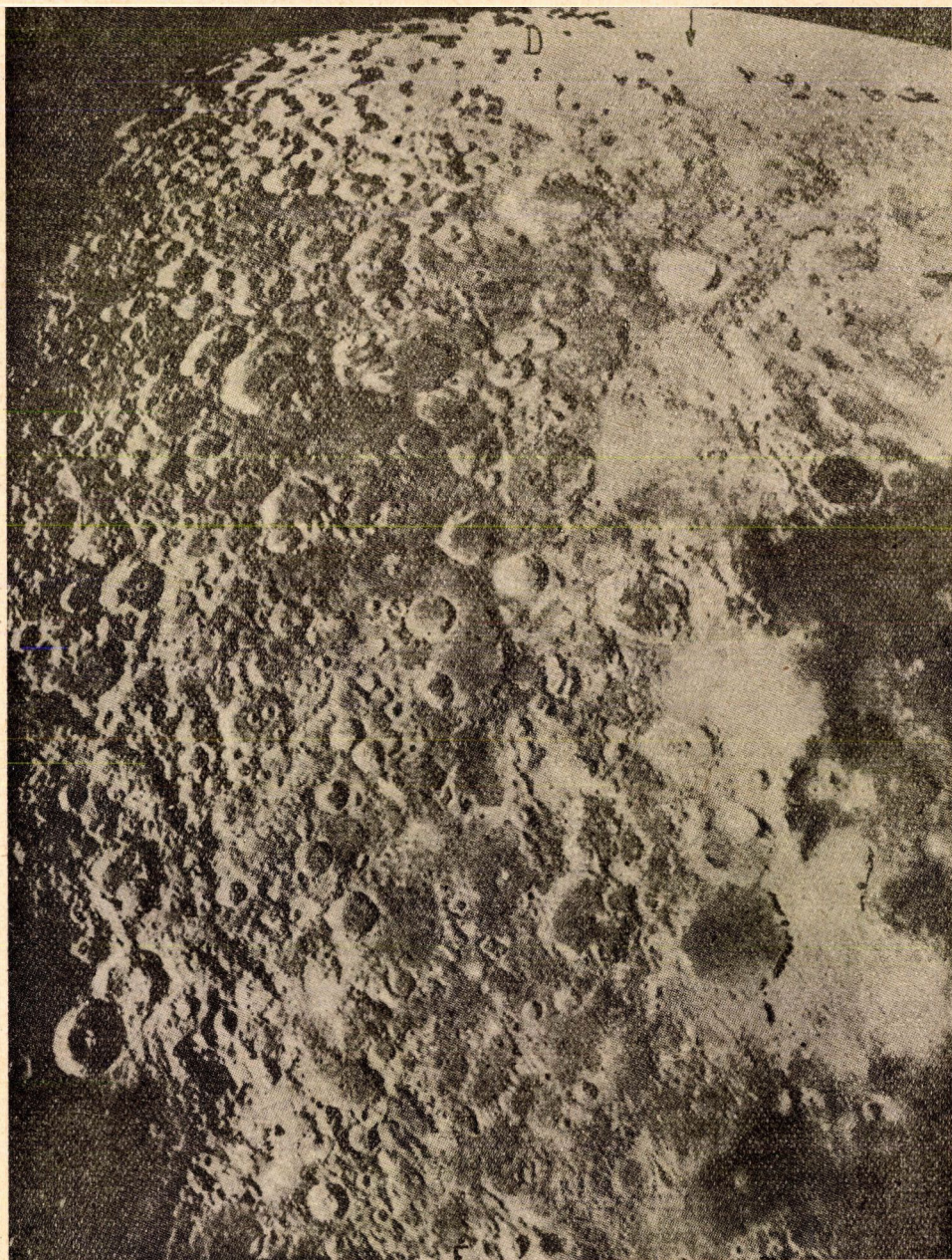
géből következtetve az *Antolycos* és *Eratosthenes* kráterek például vastagabb réteg átszakításakor keletkeztek (4. és 5. kép).

A gyűrűshegyek jelentős részére jellemző a középponti csúcs. Magyarán nézzük meg az Oceanographic Institution [8] által készített fényképsorozatot egy buborék felszínre éréséről folyadékban (6. kép). (A fényképek egyébként a kráter kialakulásáról is számot adnak.) A Holdon a felszínre ért és elpattant buborék térfogatát betölteni igyekvő olvadék a kráter közepén feltornyosulva megszilárdulhatott. Lehetséges az is, hogy a buborék szélén az olvadék gyors áramlása következtében, ahol a nyomás már kisebb, apró buborékok keletkeztek, melyek már nem tudtak úgy megnőni. A felszín később elérő kis buborékok a kráter lassan megszilárduló olvadékában vulkanikus jelenségeket hozhattak létre, amely a középponti csúcs kialakulásához vezetett.

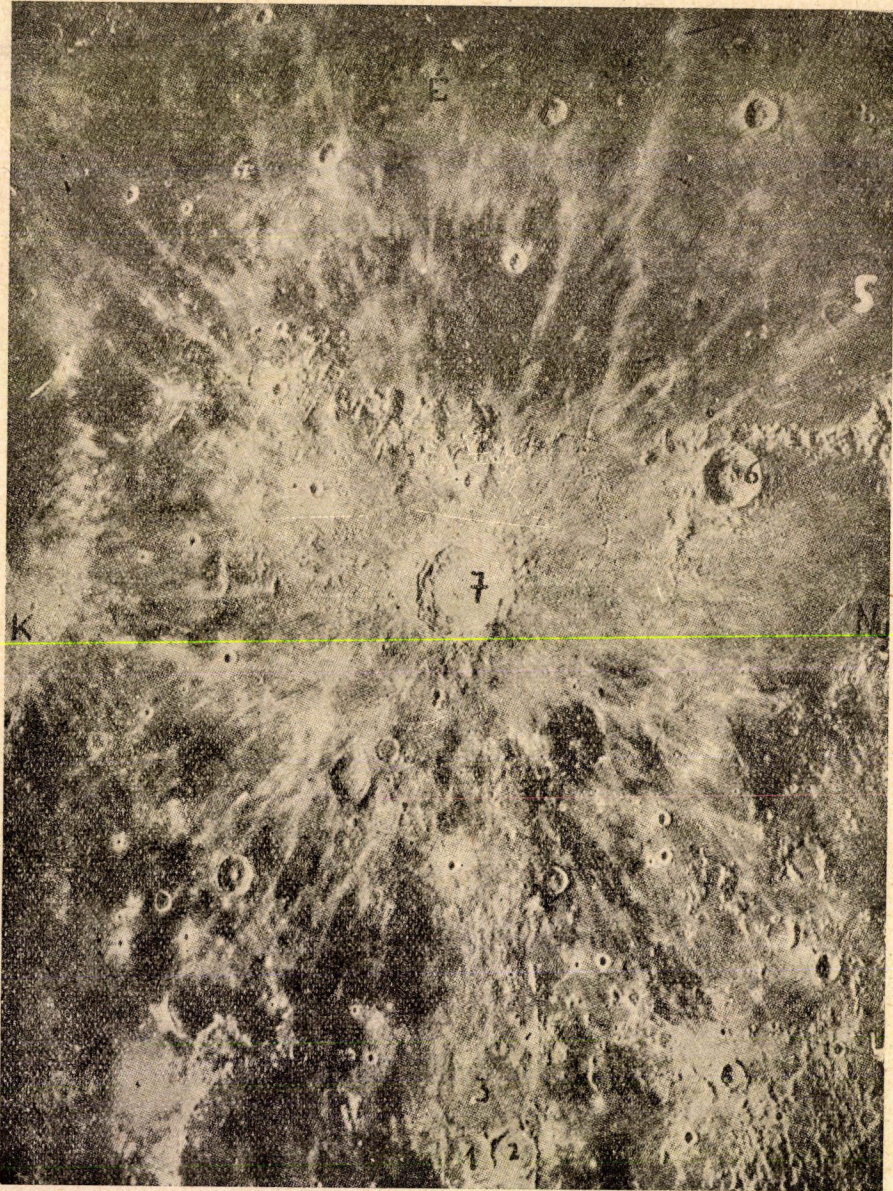




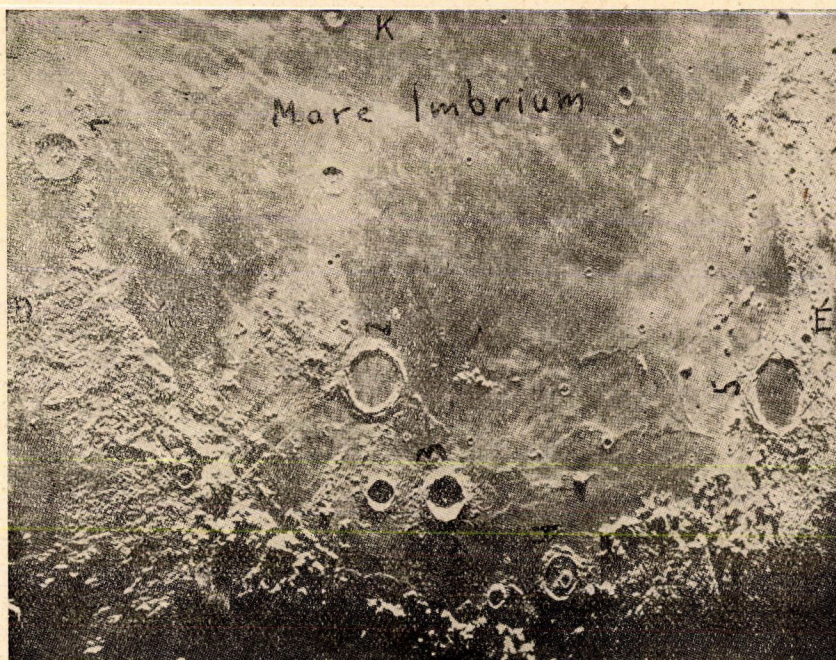
2. kép. 1. Ptolemaios kráter, 2. Alphonsus kráter, 3. Arsachel kráter, 4. Tycho kráter.  
A szaggatott vonalak elmosódott kráterek



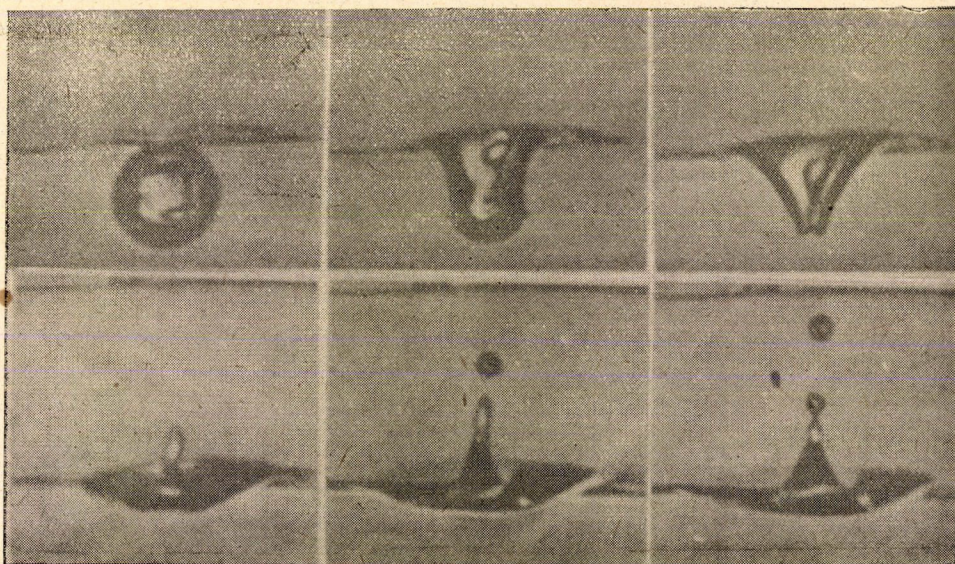
3. kép. Tycho kráter



4. kép. 1., 2., 3., 4., 5. elmosódott kráterek, 6. Eratosthenes kráter, 7. Kopernikus kráter



5. kép. 1. Eratosthenes, 2. Archimedes, 3. Antolycos, 4. Cassini, 5. Platon



6. kép. Vízben a felszínre érő buborék kráteralakzatot hoz létre.  
A kráter közepén a víz feltornyosul



7. kép. Hólyagos bazaltláva

### A sugaras szerkezet

Egy nagy mélységben levő kis térfogatú buborék felfelé áramló sebessége (amint a *Stokes*-féle ellenállási törvényből és a felhajtóerőből következik)

$$v = \frac{2r^2 g \rho}{9\eta}$$

$r$  kis, és  $\eta$  nagy értéke miatt olyan kis érték is lehetett, hogy a buborék felszínre éréséig eltelt idő alatt a Hold kérgén már jelentős vastagságú kéreg keletkezhetett.

Egy bizonyos vastagságú kéregnél a kráterképződés másképpen következett be, mint ahogyan azt már előbb megmutattuk. A buborék, alakját megtartva nem bírja felemelni a vastag kérget, hanem ehhez érve elpattan (5. ábra). A buborékban levő gázzal eddig a hidrosztatikus és felülről a torló-, oldalról a görbületi nyomás tartott egyensúlyt.

Mivel a kéreghez érve a buborék megáll, a külső torlónyomás és az ennek megfelelő görbületi nyomás megszűnik. A külső nyomás ilyen csökkenésével a belső nyomás felszabadul. Ehhez járul még az is, hogy az elpattant

buborékot a hidrosztatikus, illetve görbületi nyomás a kéreghez szorítja. A gáztömeg felrobban. A robbanás átszakítja a kérget és gyér tömegű kőr-sáncsal kialakul a kráteralakzat. A szétrepülő törmelék létrehozza a sugár-rendszert. Mivel a Holdon nincs légellenállás, a robbanáskor felszabaduló gáz ezer kilométerre is elszállíthatja a könnyű, por alakú törmeléket. A vastagabb réteg átszakításából nyilvánvaló, hogy az ilyen kráterek utolsóknak keletkeztek. Ez megmagyarázza azt, hogy a robbanás következményeként kialakult sugárrendszer miért halad át minden felszíni képződményen. A *Tycho*, *Kepler*, *Kopernikus*, *Aristarchos* kráterek keletkezettek például így (1., 2. és 4. kép). Ha a kéreg vastagsága, vagy a buborék kis térfogata miatt a gáz nem tud a felszínre törni, akkor a megszilárduló magmában gázzárvány keletkezik, aminek tartalma idővel pl. repedéseken keresztül a felszínre kerülhet. Lehet, hogy az *Alphonsus* kráterben észlelt jelenségnek ez a magyarázata.

Minden bizonnyal számos olyan kráter van, amely másfajta vulkanikus tevékenységnek, vagy éppen meteorok becsapódásának az eredménye.

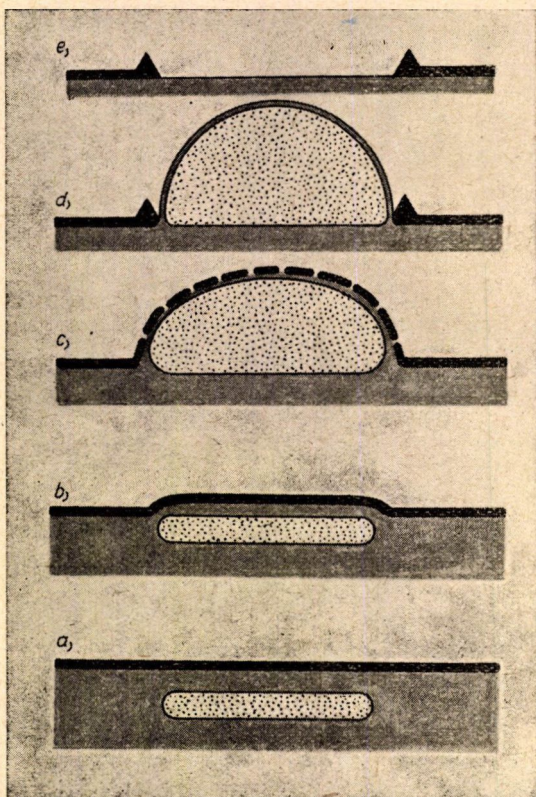
### A tengerek

Ismeretes, hogy a földi vulkánokból a felszínre kerülő *bázisos* láva hígan folyós, gyorsan kihűlő, emiatt az elnyelt, gyorsan eltávozó gázok összetördelnek, felfújják. A *savanyú* láva viszkózus, lassan hűl ki, a felszabaduló gázok ezért elávozhatnak belőle. Ha a kovasavtartalom nagy, akkor a láva savanyú, ha kisebb, akkor bázisos.

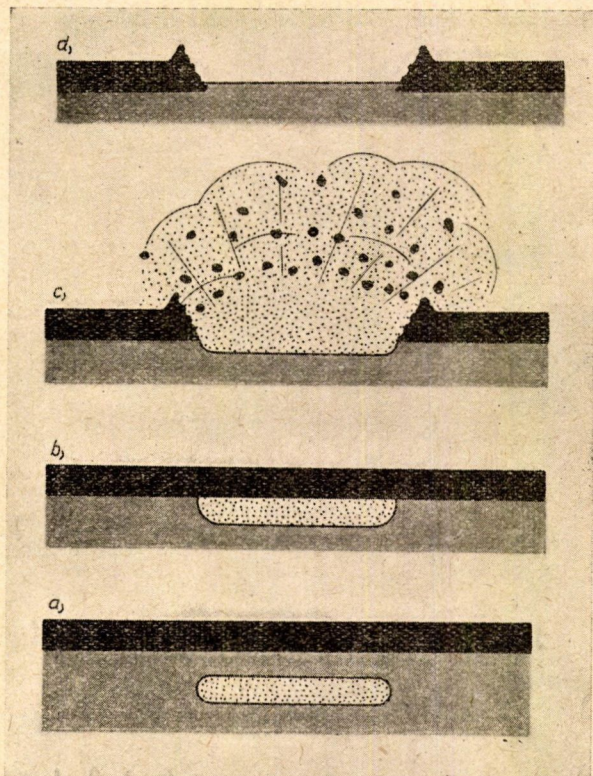
A földi eruptív eredetű bázisos és savanyú kőzetek egymáshoz viszonyított tulajdonságai a következők [9]:

	bázisos	savanyú
fajsúly	nehezebb	könnyebb
szín	sötétebb	világosabb
törőszilárdság	nagyobb	kisebb
hővezető képesség	nagyobb	kisebb

A Hold felszínének anyaga feltehetőleg hasonló tulajdonságú kőzetekből áll. A fajsúly és a hővezetőképesség fenti különbözőségét elfogadjuk cseppfolyós állapotra is. A törőszilárdságot a részecskék közötti kohéziós erők határozzák meg, tehát a savanyú kőzeteknél ez kisebb, mint a bázisosaknál. Megolvadt állapotban is feltehető a kohéziós erők ilyen különbsége, ami felületi feszültségük különbözőségén is tükröződik: a savanyú olvadékok felületi feszültsége kisebb, mint a bázisos olvadéké.



4. ábra. A felszint elérő óriási buborék a vékony szilárd kérget útjából félretolja (ebből lesz a gyűrűshegy) és elpattan

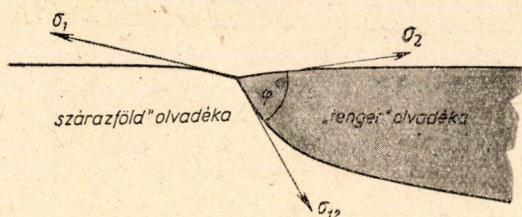


5. ábra. A vastagabb szilárd kérget a buborék nem tudja félretolni, a gáztömeg felrobban

Ha a bázisos olvadék felületi feszültsége  $\sigma_1$ , a savanyúé  $\sigma_2$ , a két olvadék érintkezési felületén pedig  $\sigma_{12}$ , akkor ezek kielégítik a Young-féle

$$\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_{12} \cos \varphi$$

egyenletet, ha közelítésképpen a  $\sigma_1$  és  $\sigma_2$  által bezárt szöget  $180^\circ$ -nak vesszük. Mivel fentebb megjegyeztük, hogy  $\sigma_1 > \sigma_2$ , ezért  $\varphi < 90^\circ$  (6. ábra). A hígany folyós nehezebb olvadékon úgy gyűlt össze a könnyebb, savanyú olvadék,

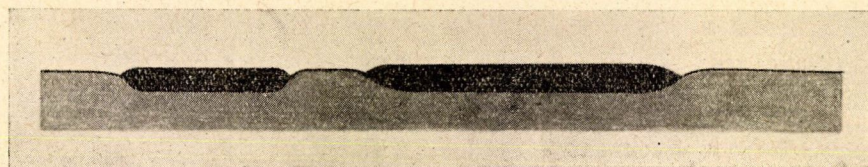


6. ábra. Egyensúly esetén a felületi feszültségek összege nulla

mint pl. vízben az olaj. Ezzel magyaráztuk a kialakult tengerek köralakját (1. kép). A tengerek vastagsága olvadt állapotban csak a felületi feszültségektől és a fajsúlyoktól függhet, de nem a kiterjedéstől (7. ábra). (A tengerek anyaga természetesen nem szükségszerűen ugyanazzal a kovácsav tartalommal rendelkezett, így

pl. vastagságuk is csak közelítésképpen vehető egyenlőnek.)

A majdani szárazföldek anyaga gyorsan hűlt ki, a felszabaduló buborékok a felszínt összetördelték. A 3. kép a Hold tengerektől háborítatlan, kráterektől feltördelt délnyugati részét mutatja. A kisebb hővezetőképesség miatt lassabban kihűlő tengerek még felszínük megszilárdulása előtt elvesztik gáztartalmuk jelentős részét úgy, hogy a keletkezett buborékok nem, vagy csak éppen kivehető nyomokat hagynak. Ilyen elmosódott nyomokat találunk



7. ábra. A nehezebb olvadékon a könnyebb tengerek anyaga úgy gyűlt össze, mint vízben a zsír

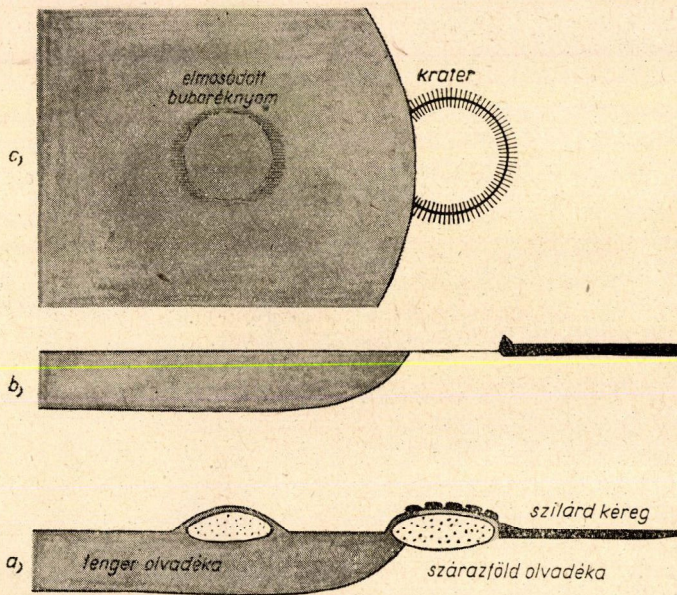
a *Mare Nubium* öbleiben (2. kép) és pl. a *Kopernikus* kráter környékén is (4. kép). Azt a tényt, hogy a tengerek még folyékony állapotban voltak akkor, amikor már a szárazföldek szilárd kéreggel rendelkeztek, mutatja a *Fracastor* kráter. A krátert létrehozó buboréknak egy része a *Mare Nectaris*ba esett, a másik része a szárazföldre. Emiatt hiányzik a gyűrűshegy tengerbe eső része (8. ábra). Így keletkezhetett a *Sinus Iridum* is.

A *Mare Nubium* nyugati öbleiben óriási buboréknyomokat találunk (2. kép). Ennek az lehet a magyarázata, hogy a tengert alulról megközelítő V



térfogatú buborék (amely szárazföldön felbugyogva a többi kráterhez hasonló nagyságú képződményt hozott volna létre) a tengerek olvadékába érve (4) miatt ellaposodik, mert a tengerek felületi feszültsége kisebb. A buborék mégsem esett szét (6) miatt, mert a tenger nagyobb viszkozitása jelentősen csökkentette a buborék  $v$  sebességét.

Az olvadékból eltávozó gázok a szárazföldek anyagát fellazították, a tengereket pedig nem. Ezért lettek a tengerek síkságok. A gyorsabban kihülő



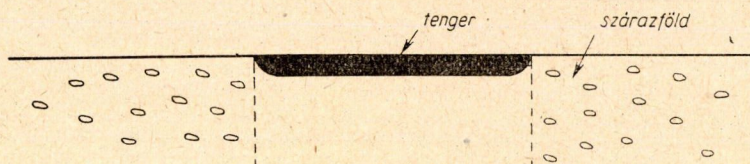
8. ábra. A tengerek a lassúbb lehűlés miatt még folyékonyak voltak, a szárazföldek anyaga pedig a gyors lehűlés miatt már szilárd kéreggel rendelkezett. Ha a buborék egy része a tengerbe esett, a másik része a szárazföld alá, akkor egyik részén nyitott gyűrűshegy keletkezett

szárazföldek anyagából nem tudott minden buborék eltávozni, ezért a meg-szilárduló olvadékban gázzárványok keletkeztek. Ezek a szárazföldek anyagának fajsúlyát jelentősen csökkentették. A rossz hővezetés miatt lassabban kihülő tengerek megóvták az alattuk levő (a szárazföldek anyagával megegyező) olvadékot a gyors kihüléstől. Ezért a tengerekből és az alattuk levő nehezebb olvadékból a gázok eltávozhattak, gázzárványok kevésbé keletkeztek. Ebből következik, hogy a tengerek és az alatta levő kőzetek fajsúlya nehezebb lett a „szárazföldek” anyagánál. A tengerek alatt tehát egy henger alakú, össze-

függő nehéz tömb alakult ki (9. ábra). A súlytöbblet miatt fellépő nyírás

$$f = \frac{P}{F} = \frac{r^2 \pi m (\rho_t - \rho_{sz}) g}{2 r \pi m} = \frac{(\rho_t - \rho_{sz}) g}{2} r,$$

azaz arányos a sugárral, ha  $r$  a tenger sugara,  $\rho_t$  és  $\rho_{sz}$  a tömb, illetve a szárazföld sűrűsége ( $\rho_t \gg \rho_{sz}$ ),  $m$  pedig a szilárd kéreg vastagsága. Mivel a tömb süllyedése arányos a fellépő nyírással, ez pedig láttuk, hogy a tenger suga-



9. ábra. A tenger alatt nehéz, gázzárványoktól mentes tömb alakult ki

rával arányos, a következő törvényszerűséghez jutunk: a tengerek mélysége növekszik a sugárral. Ismeretes, hogy a nagyságrendben egymásután következő

<i>Mare Imbrium</i>	(átmérője 1150 km)
<i>Mare Serenitatis</i>	(átmérője 690 km)
<i>Mare Foecunditatis</i>	(átmérője 670 km)
<i>Mare Crisium</i>	(átmérője 510 km)
<i>Mare Humorum</i>	(átmérője 440 km)
<i>Mare Nectaris</i>	(átmérője 300 km)

tengerek mélysége ugyanilyen sorrendben csökken.

A szárazföldeket alkotó kőzetek jobb hővezetők a tengerek anyagához viszonyítva, ezért nagyobb hőingadozásoknak is voltak kitéve, különösen holdfogyatkozáskor. A gyors hőmérsékletváltozások a szárazföldek anyagát finomabban porlasztották el, mint a kisebb hővezetőképességű, tengereket alkotó kőzeteket, amelyekben a lassú hőingadozások kevésbé bontották meg a kőzet szerkezetét. A szárazföldek nagyobb fényvisszaverőképességét azzal magyarázzuk meg, hogy az anyag felaprózódásával nő a fényvisszaverő képessége. Ez a hatás megváltoztatja az anyag normális visszaverőképességét.

### A lánchegységek

A megdermedő olvadékok általában kiterjednek. A később megszilárdult tömör felépítésű tengeranyag, a partjain elterülő gázzárványok miatt lazább szerkezetű szárazföldeket feltúrta. Így alakultak ki a jellegzetes, tengerek partvidékein elhelyezkedő lánchegységek: *Kárpátok*, *Appenninek*, *Haemus*. Nem

szükségszerű, hogy a szárazföld feltorlódása éppen a tenger partján következzon be. Létrejöhet távolabb is, ott, ahol a szárazföld szilárdsági viszonyai ezt jobban megengedik. Természetes, hogy ebben az esetben is a hegylánc merőleges a feszültség irányára. Ilyen esetre példa a *Mare Nectaristól* távolabbra eső *Altáj*. Valószínű, hogy a Lunyik által felfedezett *Moszkva*-hegylánc a felénk eső tengerek hatására hasonlóan keletkezhetett.

### A rianások

Ismeretes, hogy a gyorsan kihűlő üvegszerű olvadékok megrepedeznek. A magma szilikáttartalmánál fogva bizonyos körülmények között üvegszerűen is megdermedhet. Ha a magma hirtelen hűl le, akkor benne nem képződnek kristályok, hanem az olvadék amorf közetüveggé dermed [10]. A magmában oldott gázok jelentősen csökkentik a viszkozitást [10]. Ezek eltávozásával tehát a magma részecskéi nehezebben rendeződhetnek kristályrácsba. Üveges módosulatok pl. az obszián, a perlit, a szurokkő, a bazaltüveg.

Az olvadt állapotban levő szilikáttartalmú holdfelszín a hirtelen lehűlés és gázeltávozás miatt egyes földi kőzetekhez hasonlóan üvegszerűen dermedhetett meg. További kihűlés jelentős összehúzásokat eredményezhetett, aminek következtében rianások keletkeztek.

### IRODALOM

- [1] P. SCROPE: *On Volcans*, London, 1825.
- [2] R. SCHINDLER: *Die Mechanik des Mondes*, Luzern, 1911.
- [3] D. P. LEVCEV: *Litejnoje Proizvodszto*, 1954. 5. 24.
- [4] F. v. WOLF: *Die Eruptivgesteine*, Pössneck, 1951. (2. oldal)
- [5] R. DAVIES—G. TAYLOR: *Proc. Roy. Soc.* **200**, (1950) 1062.
- [6] V. G. LÉVICS: *Fiz.-kém. hidrodinamika*, Budapest, 1958. (276. oldal)
- [7] F. v. WOLF: *Der Vulkanismus I*, Stuttgart, 1914.
- [8] A. H. WOODCOCK: *Scientific American*, **197**, (1957)
- [9] VENDL A.: *Geológia*, Budapest, 1957.
- [10] F. v. WOLF: *Die Eruptivgesteine*, 1951. (1. ill. 48. oldal)

(Beérkezett: 1959. III. 24)

*Damjanich János Gimnázium*  
*Nagykátá*