

ÉLET és TUDOMÁNY

11. szám 1985. III. 15.



ÉLET ÉS TUDOMÁNY
A TUDOMÁNYOS
ISMERETTERJESZTŐ
TÁRSULAT HETILAPJA

JÉGBE ZÁRT TAVAK
Horváth Gábor

ISSN 0013—6077

JÉGBE ZÁRT TAVAK -

Japan kutatók az Antarktisz jegében több ezer meteoritra bukkantak



MOZGÓ JÉGPÁNCÉL

A hatodik földrész — az Antarktisz — az örök hó és jég birodalma; a szárazföldet borító jégkéreg közepes vastagsága 1500 m, de van ahol a 4 km-t is eléri! A hegységekben a jégtakaró hatalmas gleccserekké áll össze. Örök mozdulatlanságba dermedt táj? — Nem: még ott is van mozgás, változás! A jégtakaró a peremek felé lassú — évenkénti 30—300 m-es — sebességgel mozog. S a mozgó jégpáncélokban sokszor hatalmas kiterjedésű, jég alatti tavak is keletkezhetnek. De miképpen?

Az, hogy a jég nagy nyomás hatására megolvad, majd a nyomás megszűntekor újrafagy, s hogy a víz térfogata fagyáskor megnövekedik — csupa közismert és egymással szorosán összefüggő, hétköznapi jelenség. Magyaróztatuk a víz és a jég szerkezetében rejlik, ez pedig — mint látni fogjuk — nem is olyan egyszerű.

Hatféle jég

A víz ama ritka anyagok közé tartozik, amelyeknek a térfogata olvadáskor csökken. — Már maga ez a kijelentés is leegyszerűsítést rejt magában. A víz szilárd halmazállapotához — a jéghez — ugyanis *hat különböző* módosulat (fázis) tartozik. (Ezeknek egyébként nincsen külön nevük; egyszerűen úgy nevezik

őket, hogy első jég, második jég... stb.) A „közönséges” jégtől eltérő változatok általában csak különleges körülmények között — például nagyon nagy nyomáson — jönnek létre. De a hat változat közül egyedül a „közönséges” jégre igaz az, hogy sűrűsége kisebb a vizénél — a többi öt változat mind nehezebb a víznél! Köznapi körülmények között azonban ezekkel a változatokkal nem találkozunk.

A „közönséges” jég a jégnek legfontosabb, mínusz 30 és 0 Celsius-fok között létező szilárd módosulata. Benne a víz oxigénatomjai körül tetraéder alakban helyezkednek el a hidrogénatomok, s a kovalens H—O—H kötés szöge 109,5° (1. ábra). (A kovalens kötésű anyagokban a különféle atomokat olyan elektronok tartják együtt, amelyeknek a „pályája” magába zárja az összekötött atomokat. A hidrogén a klasszikus kémia szerint egy vegyértékű, ami azt jelenti, hogy atomjai csak egyetlen más atomhoz kapcsolódhatnak. Később kiderült: megtörténhet, hogy a hidrogénatom két másik atomhoz kapcsolódik, de ekkor az egyik kötés — ezt a kapcsolatot nevezték el „hidrogénhid”-nak — jóval gyengébb, mint a másik. A jég kristályrácsában a molekulákat ilyen „laza” hidrogénhidak kapcsolják össze.)

A jégkristályban minden H₂O-molekulát négy másik vesz körül tetra-

raéderes szimmetriával. A két energetikailag legkedvezőbb kapcsolódási módot 2. ábránk mutatja. Minusz 30 és 0 Celsius-fok között a szilárd jégkristályban a kötések 75 százaléka b típusú (2. ábra). A vízmolekulák hattagú gyűrűket alkotnak, s ezek szabályosan egymás fölé rendeződnek. A gyűrűk összekapcsolódásáról a kötések 25 százalékát kitevő, egymással párhuzamosan rendeződő, a tengellyel szimmetrikus a kötés-típus gondoskodik. Az egymás fölé rétegződő gyűrűk viszonylag nagyméretű, csatornaszerű üregeket zárnak körül.

A jég sűrűsége azért kisebb a vizénél, mert olvadáskor a jég említett rácsszerkezete úgynevezett kvázikristályos szerkezetbe megy át; ebben már csak igen kicsi, mikroszkóppal sem látható tartományokban, úgynevezett rajokban fordul elő a szabályos kristályszerkezet, s ezekben is a csatornákat egyedülálló vízmolekulák töltik ki. A rajok közti tartományban pedig már szinte teljesen rendezetlen, többnyire magányos molekulák alkotta szerkezet alakul ki. Ez a „kvázikristályos” szerkezet így tömörebb (kompaktabb), *kisebb helyet foglal el*, azaz nagyobb a sűrűsége. Ennek alapján érthető már, hogy fagyáskor miért terjed ki a víz.

Ha nő a nyomás

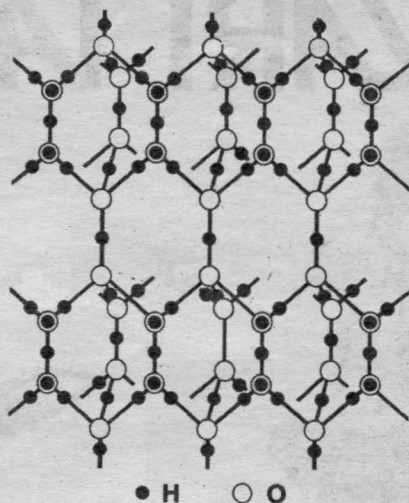
Az előző szerkezeti megfontolásból egyenest következik, hogy a víz-olvadási hőmérséklete a nyomás növekedtével csökken. A hőtannak egyik fontos alapelve ugyanis kimondja, hogy egy egyensúlyban levő rendszer úgy reagál az állapotát megváltoztatni igyekvő külső hatásra, hogy csökkenteni igyekszik azt. Ez esetünkben a jég lazább térkitöltésű, szabályos szerkezetének az összeroppanásával, azaz megolvadásával megy végbe. Ezt a jelenséget nevezük olvadáspont-csökkenésnek, s ez minden olyan anyagban előfordul, amelynek a szilárd halmazállapotához tartozó sűrűsége kisebb a folyékonyéhoz tartozóénál. Ne gondoljuk azonban, hogy a nyomás növelésével akár az abszolút nulla hőmérsékletig is lecsökkenthető az olvadáspont! Roppanó nagy nyomáson ugyanis a jég olyan szerkezeti változáson megy át, amelynek eredményeképpen megfordul a folyamat, s a nyomás további növelésére már nőni fog az olvadási hőmérséklet. — A moszkvai egyetem magas nyomású fizikai intézetében Verescsagin professzor egy $5 \cdot 10^7$ bar nyomást előállítani képes sajtóval mínusz 22 Celsius-fokon folyékony állapotban tartotta a vizet 2000 bar nyomáson. Ám 20 000 baron már megtörtént az említett szerkezetváltozás, s a jég 76 fokon is szilárd maradt. 40 000 bar nyomáson már annyira megemelkedett a víz olvadáspontja, hogy még 200 fokon is szilárd volt, azaz már *forró* jégről volt szó. Számítással pontosan meghatározható, hogy mennyire függ a nyomástól a víz olvadáspontja. A számítás eredményét 3. ábránk mutatja.

Nagy nyomáson igen bonyolulttá válnak a folyamatok. Például a rendes körülmények között elektromosan szigetelő víz 100 000 bar nyomáson áramvezetővé válik. Ezért további vizsgálódásunk során megmaradunk a néhány 1000 barig terjedő intervallumban, mikor is nem kell számolnunk ezzel a szerkezetmódosítással.

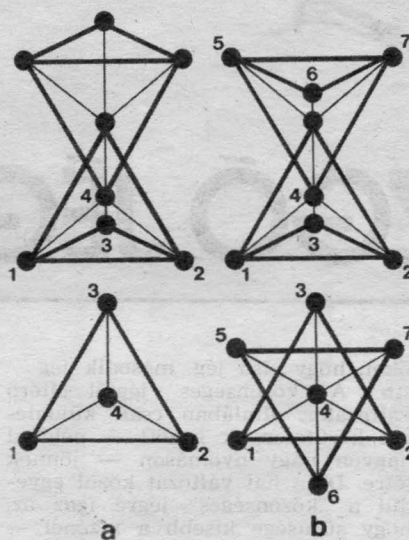
Tó – jég alatt

Az Antarktisz jégkérgének vastagsága néhol a 4 km-t is meghaladja! Az ott felhalmozódott jégmennyiség a maga 24 millió km^3 -es térfogatával óriási édesvízkészletet képvisel: az a Föld vízkészletének 62 százaléka! Ez az édesvíz nemcsak jég, hanem víz formájában is föllelhető, részben a nyári jégmentes területeken, részben pedig (és számunkra most ez a fontos) a *jégtakaró alatt*, kisebb-nagyobb *tavak* formájában. Ezek keletkezéséért az olvadáspont-csökkenés is felelős. De nemcsak az!

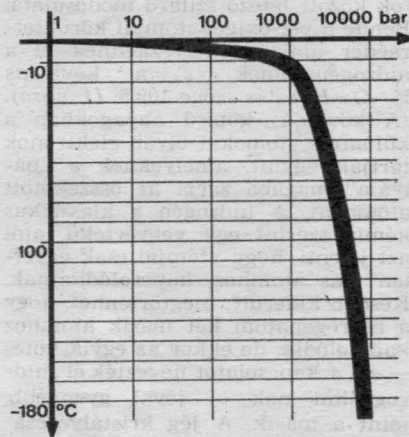
Az antarktiszti jégpáncél állandó mozgásban van. Ezt a következők is bizonyítják: 1969-ben egy japán glaciológus az antarktisz *Yamato-hegységben* kilenc meteoritot talált;



1. ábra. A hidrogén (H) és az oxigén (O) atomjainak elrendeződése a jég kristályszerkezetében



2. ábra. A jégkristályban minden vízmolekulát négy másik vesz körül tetraédres szimmetriával, s ezeket laza hidrogénhidak (vékony vonal) kapcsolják össze



3. ábra. A jég olvadáspontjának változása a nyomástól függően

ezekekről később kiderült, hogy egy *meteoritfeldúsulásnak* a tagjai. Tíz évvel később japán kutatók ismételt kutatást végeztek a Yamato-hegység környékén, s további 3000 meteorit-ra bukkantak, többre, mint amennyi az addig ismert összes lelet. Ez a roppant gazdag feldúsulás éppen az általunk vizsgált jelenségeknek köszönhető. Az Antarktisz hatalmas jégpáncélja szüntelenül tágul a ráhulló hó miatt, mégpedig a sark felől északi irányban. Ezt a táguló mozgást a jégkéreg alján uralkodó hatalmas nyomás okozta olvadás segíti, mintegy „vízkenést” alkalmazva. Ez azonban a dolognak csak az egyik oldala. Egy nagy tömegű jégtömb alsó rétegei ugyanis a nagy nyomás miatt könnyen megolvadnak, a keletkezett víz — ha van rá módja — kitér a nyomás alól, s máshol újra megfagy. Ilyen módon a jégtömbök megváltoztathatják az alakjukat, vagyis úgy viselkednek, mintha plasztikusak volnának. Tehát a jég nagy tömegben felhalmozódva *képlékenyen* viselkedik, s ennek ugyanolyan fontos szerepe van a jégtakaró mozgásában, mint a „vízkenés”-nek.

A szárazföld szélére érő jégmező jégtáblákra töredezik, s az óceánba kerül, ott azonban a jég mozgását akadályozzák a hegységek, tehát a jég összetöredezve feltorlódik. Ezeket a feltorlódtott jégtömböket a szél pusztítja, így a jég szállította nagyobb sűrűségű anyagok, egyebek között a meteoritok feldúsulnak az ilyen helyeken. Ez a feldúsulás tehát nem képzelhető el a jég lassú mozgása, végső soron a jég plasztikus volta és az olvadáspont-csökkenés nélkül.

A jégpáncél mozgásának a jég alatti tavak keletkezésében is szerepe van. A mozgó jég hozzájárul a talaj alapközethez, s ez bizonyos hőmennyiség felszabadulásával jár. Ez a hőmennyiség a földi hőáramból származóval együtt azokon a területeken, ahol a legvastagabb a jégkéreg, elég lehet ahhoz, hogy a hőmérséklet megközelítse a jég olvadáspontját.

3000 m-es jégvastagsággal számolva a nyomás 270 bar, és számítások szerint ott az olvadási hőmérséklet mínusz 2 Celsius-fok. A jégtakaró úgynevezett aktív rétegének alján (ahol már nem tapasztalható az évi hőingadozás), 12-15 m-es mélységben a jég hőmérséklete mínusz 50 fok, tehát jóval alacsonyabb. 4000 m mélyen a nyomás 360 bar, az olvadáspont mínusz 3 fok. A jég végül is a legmélyebb helyeken olvad meg, ott, ahol a legnagyobb a súrlódási hő és az olvadáspont-csökkenés.

A jég alatt megbúvó tavakat a rádiólokáció után fúrásokkal is feltárták, először 1968-ban, amikor is egy 2164 m mélységű fúrás vizet ért. Azon a helyen a nyomás 195 bar, az olvadáspont a 3. ábra szerint mínusz 1,5 Celsius-fok volt. Az egyik legnagyobb jég alatti tó — 30 km^2 a területe! — 3560 m vastagságú jég alá van bezárva...

Horváth Gábor