

## A klímaváltozás lehetséges csillagászati okairól

Az, hogy az éghajlat több évezredes időskálán figyelve drasztikus változásokat mutathat, azaz nagy eljegesedések és felmelegedések lehetnek, csak a 19. században vált világossá. Azt az elméletet, miszerint a légköri CO<sub>2</sub> változásai lehetnek az éghajlatváltozás elsődleges mozgatórugói, eredetileg Svante August Arrhenius (1859-1927) svéd fizikus és kémikus fejlesztette ki a 19. század végén, a jégkorszakok és interglaciálisok közötti átmenetek magyarázataként. Ezt az elméletet később Ångström (1901) és Simpson (1929) is bírálta. Azonban később Callendar (1938) újraélesztette és tovább bővítette az elméletet. Szerinte az antropogén CO<sub>2</sub> kibocsátás a felmelegedés elsődleges hajtóereje volt a 19. század végétől az 1930-as évek közepéig. Egy konkurens hipotézis, amelyet több 19. századi kutató javasolt (például Adhémar, majd Croll), az volt, hogy a Föld Nap körüli pályájának hosszú távú ciklikus változásai voltak a glaciálisok és interglaciálisok kialakulásának okai. A 20. század elején Milankovics számítások sorozatát végezte el, és kimutatta, hogy a Föld pályájában számos fontos ciklikus változás van. Ezek periódusa több tízezer év, és minden évszakban ezek befolyásolják a bejövő napsugárzást különböző szélességi körökön.

Nincs olyan nap, hogy a hírek ne foglalkoznának a klímaváltozással. A „klíma” egy ógörög szó, amely egyszerűen változást jelent. Jelen esetben éghajlat változást. Éghajlatnak nevezzük egy-egy nagyobb földrajzi térség jellemző időjárását, illetve az időjárási elemeinek hosszú távú ismétlődését. A vele szomszédos, azonos vagy hasonló éghajlatú helyek összevonásával beszélhetünk regionális éghajlatról, vagy klímáról. A meteorológia úgynevezett jellemszámokkal dolgozik. Közülük legfontosabbak a törzsértékek, szélső értékek és gyakorisági értékek. A törzsértékek egy földrajzi hely (hőmérséklet, csapadék, páratartalom, napsütéses órák, stb.) egész évre átlagolt értékei. Ezek mellett figyelembe kell venni a szélső értékeket is. Fontos, hogy a „veszélyes” szélső értékek hányszor fordulnak elő egy meghatározott időn belül. Ezt nevezzük gyakorisági értéknek, amit százalékban szokás megadni. A klíma fogalmát ki lehet terjeszteni az egész Földre is, éghajlati rendszerekre osztva a bolygót. Legegyszerűbb a Nap sugárzási energia eloszlását figyelembe vevő szoláris klímarendszer. Kialakulásának oka a Föld forgástengelyének ferdesége. A forgástengely 66,5 fokok szöget zár be a napkörüli keringés síkjával, az ekliptikával.

A Ráktérítő (23,5 fok É-i szélesség) és a Baktérítő (-23,5 fok D-i szélesség) közé eső terület a trópusi öv. A Föld felszínének 40 %-át fedi le. E területen belül a napsugarak beesési szöge egész évben a legnagyobb. Az egyenlítőn a nappalok és éjszakák állandóan azonos hosszúságúak, de a trópusi övben ettől csak kis mértékben térnek el. Gyakorlatilag nincsenek évszakos változások. Ezek a Föld legmelegebb területei.

Mérsékelt éghajlati övből kettő van; egyik az É-i, másik a D-i féltéken. A trópusi övtől számítva a 66,5 fok É-i szélességi, és a -66,5 fok déli szélességi körig (sarkkörök) terjednek. Összességében a Föld felszínének 52 %-át borítja. Ezeken a területeken belül mind a Nap delelési magassága, mind a nappalok hossza elég tág határok között változik. A Nap maximálisan csak 66,5 fok magasságig emelkedhet a látóhatár fölé, a nappalok és éjszakák aránya az évszaktól függ. A sarkkörökön az év egy bizonyos napján nem emelkedik a látóhatár fölé, 24 órás éjszaka van. A mérsékelt éghajlati övön belül a Nap sugárzási energiája aránytalanul oszlik meg a téli és a nyári félév között.

Az É-i és a D-i sarkkörtől a pólusokig tart a hideg éghajlati öv. A napsugarak beesési szöge itt a legkisebb. A Nap delelési magassága sohasem haladja meg a 23,5 fokot. A nappalok és az éjszakák hosszúsága 24 órától 6 hónapig tart. A Föld leghidegebb területei, az É-i és a D-i hideg öv bolygónk felszínének összesen 8 %-a.

Az fenti leírás ideális esetre vonatkozik (ha a Föld gömb alakú és homogén), amikor is eltekintünk néhány fontos tényezőtől, amik az éghajlati öveket módosíthatják. Ilyen például a felszín anyaga. A szárazföldet könnyebben melegítik fel a napsugarak, mint a vízfelszíneket. A víznek sokkal nagyobb a fajhője, ezért sokkal lassabban melegszik fel, mint a szárazföld. Ezzel szemben tovább is tartja a meleget. A szárazföld gyorsabban melegszik, de gyorsabban is hűl. Az sem mindegy, hogy milyen anyag (kőzet vagy talaj) alkotja a felszínt. Hogy mennyi hőt tudnak elnyelni, az függ az albedójuktól (fényvisszaverő képességüktől), kémiai összetételüktől, víztartalmuktól, és még számos egyéb tényezőtől.

Befolyásolhatja az éghajlat övek határait a szárazföldek és óceánok eloszlása. Az északi félgömbön sokkal több a szárazföld, a délin kevesebb. Bolygónk 510 millió négyzetkilométer felszínének 71 %-a óceán. Ez eleve magával hozza, hogy az északi féltéke erősebben fel tud melegedni, míg a déli féltéke óceánjai kevésbé, de jobban tudják tárolni a hőt. Nem csak É-D, hanem egy K-i – Ny-i féltéke aszimmetria is mutatkozik.

Még jelentősebb egy adott terület tengerszint feletti magassága, amely közvetve, de közvetlenül is befolyásolja a klímát. 1 km átlagos magasság akár 100 kilométerrel is eltolhatja a klímahatárt északi vagy déli irányba.

Azonban ami a legfontosabb, és amiről most szó van, az a légkör. Ez biztosítja a létezésünket. A Föld gravitációja akadályozza meg, hogy molekulái eltávozzanak a világűrbe. Külső határa elméletileg nincs, folyamatosan ritkulva átmeleg a bolygóközi térbe. Ha nem lenne légkör (mint pl. a Hold esetében), akkor bolygónknak a napsütötte oldalán +120 - +180 C fokra hevülnének a sziklák, míg a másik oldalon -200 C fokig is lehűlné a felszín. A számottevő légkör vastagsága kb. 100 kilométer (Kármán-határ), de mindössze 10 km vastag az a réteg, amelyben a meteorológiai események lezajlanak, és amely elegendő oxigént biztosít az élő szervezetek számára. Ez a troposféra. Összetételét tekintve nitrogénből van benne a legtöbb; mintegy 78 %. Utána következik 21% oxigén és 0,041 % szén-dioxid. A maradék kb. 1 %-ot egyéb gázok, mint argon, neon, hélium, kripton, xenon, metán, stb. teszik ki.

### **A paleoklíma hosszú távú bizonyítékai**

Életünk szempontjából minden az alsó légkör állapotától függ. Hőmérséklet, páratartalom, levegőmozgás, csapadék, stb. Ezeknek az időjárási tényezőknek az értéke viszont a napsugárzástól, a felszín besugárzásától, a visszasugárzástól, a légköri cirkulációktól és még sok mástól függ.

Cesare Emiliani (1922-1995) olasz származású amerikai geológus, az izotópos paleoklimatológia megalapítója megállapította, hogy az elmúlt félmillió év eljegesedési ciklusai megerősítették Milankovics hipotézisét, és forradalmasították az óceánok és a jégkorszakok történetével kapcsolatos elképzeléseket.

De honnan tudhatjuk, és hogyan vizsgálhatjuk a sok ezer, vagy sok százezer évvel ezelőtti éghajlati viszonyokat? A kérdés felvetése jogos. Egyrészt a geológia és a paleontológia ad választ. A geológia többek között annyiban segít, hogy vannak kimondottan az eljegesedésre jellemző felszínformák és képződmények, üledéktípusok, amelyek a datálható múltban keletkeztek, majd betemetődtek. Hasonló módon a geológiai rétegekbe zárt ősmaradványok, állatok és növények maradványai, pollenszemcsék árulkodnak a paleoklimatikus viszonyokról és az eljegesedési periódusokról.

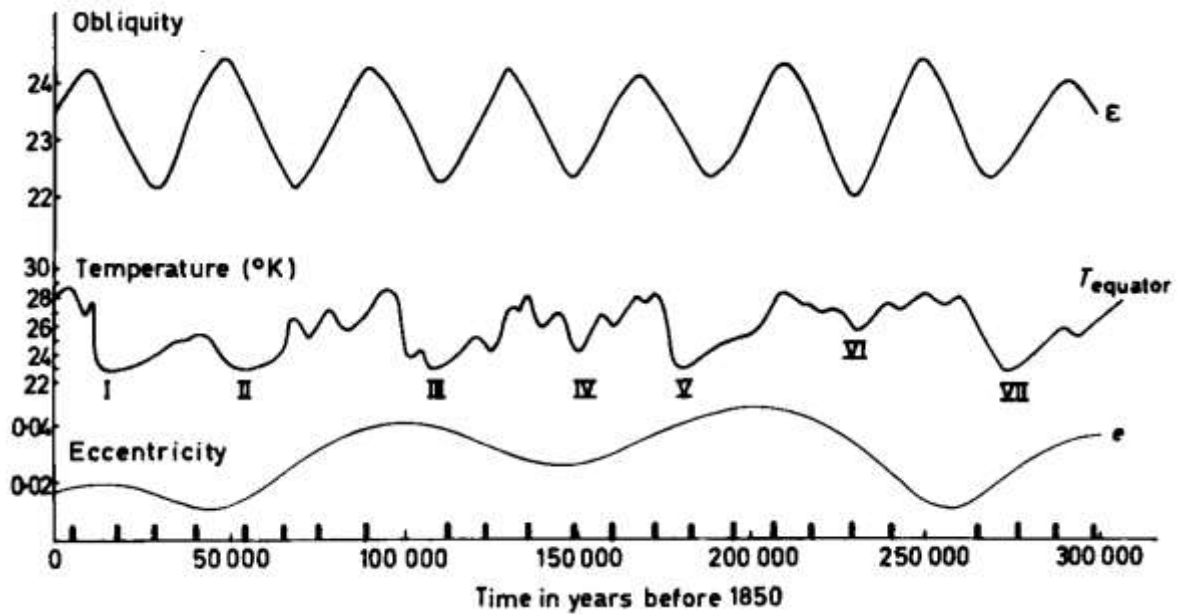
A tengeri üledékekből valamint az antarktisi és grönlandi jégmagokból származó minták szolgáltatják az egyik alapot a kutatásokhoz. Ezek hosszú távú és viszonylag folyamatos természetes archívumok. Például a jégmagokban megőrzött oxigén- és hidrogénizotóp arányok, valamint a tengeri élőlények – mint például a foraminiferák és radioláriák – meszes héjában lévő oxigénizotóp arányok jelzik a múltbeli tengerszintet, a jégmennyiséget, a tengervíz és a légkör globális hőmérsékletét. A jégmagokba zárt levegőbuborékok kémiai analízisével a légkör egykori CO<sub>2</sub> tartalmát lehet kimutatni. Ugyanakkor ezekben a jégmintákban megőrzött, de egykor a szél által szállított por mennyisége összefüggésben áll a por származási helyének éghajlati jellemzőivel, különösen utalva a száraz időszakokra. A tengerfenéki fúrásmintákban található kagylók és csigák mészvázának szénizotóp arányai nagyon sokat elárulnak az óceánok és a légköri szén-dioxid koncentrációjáról.

Emiliani hat trópusi és szubtrópusi mélytengeri fúrásmintából (magból) meghatározta az Atlanti-óceán vizének hőmérséklet változásait az elmúlt 300 000 évre vonatkozólag. Ennek érdekében a mintákban megmérte az O<sup>16</sup> és O<sup>18</sup> izotópok arányát. A kapott hőmérsékleti görbe az alábbi ábrán látható. Módszerének időbeli felbontása kb. 3000 év, ami azt jelenti, hogy ennél rövidebb idő intervallumokban jelentkező hőmérsékletváltozásokat nem tudta kimutatni. A mérési adatokból a periódusokat Fourier-analízissel határozta meg.

Ezen a görbén három nagy és hét kisebb oszcilláció van. A kis oszcillációk periódusa kb. 13 000 év, talán egy precessziós ciklus fele.

A Fourier-spektrum két jelentős periódust mutat: P<sub>1</sub> = 40 000 év, és P<sub>2</sub> = 13 000 (12 825) év. A P<sub>1</sub> megegyezik az ekliptika ferdeségének (a Föld tengelyferdeségének) változásával. A hét minimum érték akkor volt, amikor az (ε) tengelyferdeség is minimális volt. Ez 40 000 éves periódussal oszcillál 21° 58,5' és 24° 36,0' értékek között. A Föld mindkét féltekéjén a magasabb szélességi körök egy év alatt több besugárzást kapnak, mint amikor E minimum van.

Az ábrán a legfelső görbe az ε értékének időbeli változását mutatja (Milankovics 1941, van Woerkom 1953). A középső görbén láthatjuk a tropikus és szubtropikus óceán vízhőmérséklet változásait az utóbbi 300 000 évben (Emiliani, 1961). A legalsó görbe pedig a földpálya lapultságának (excentricitásának) változását mutatja.



### Milankovics elmélete

Milutin Milanković – magyar átíratban Miljutyin Milankovics – (1879 - 1958) szerb matematikus, csillagász, klimatológus, geofizikus, építőmérnök és tudomány népszerűsítő.

Milankovics két fontos elmélettel gazdagította a tudományt. Az első "Canon of the Earth's Insolation", azaz a "Föld besugárzási szabályai", amellyel a Naprendszer összes bolygójának éghajlatát jellemezni lehet. A másik nagy munkája a Föld hosszú távú éghajlatváltozásának magyarázata, amelyet a Föld helyzetének a Naphoz viszonyított változásai okoznak. Ma ezeket Milankovics-ciklusoknak nevezik. Ennek alapján próbálta megmagyarázni a Föld geológiai múltjában bekövetkezett jégkorszakokat, valamint a jövőben várható éghajlati változásokat.

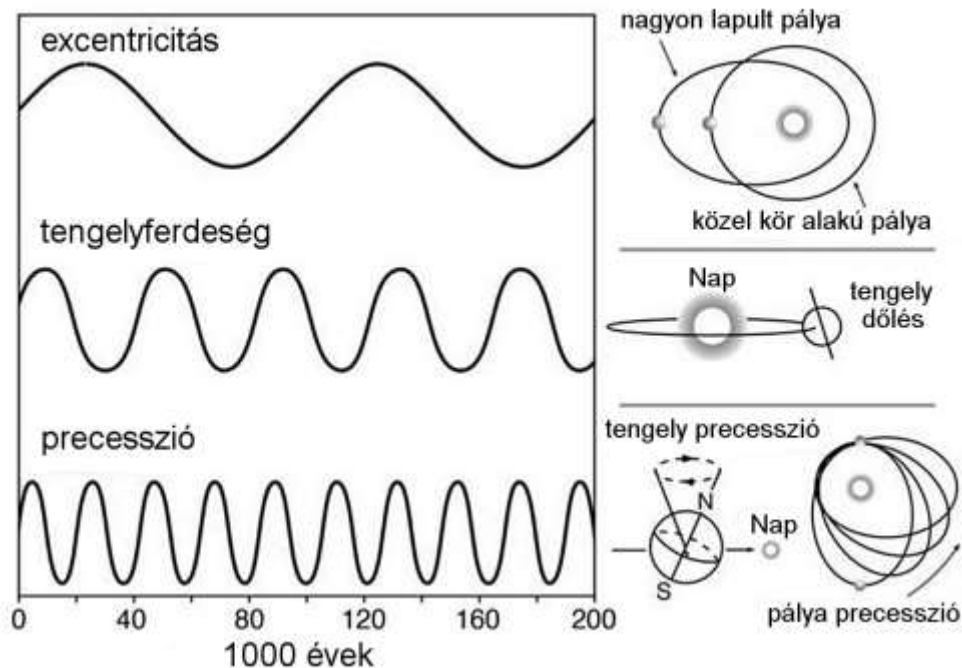
A bolygóklimatológiát azzal alapozta meg, hogy kiszámította a Föld felső légkörének hőmérsékletét, valamint a belső Naprendszer, így a Merkúr, a Vénusz, a Mars valamint a Hold hőmérsékleti viszonyait. Rámutatott az égi mechanika és a földtudományok dinamikus kapcsolataira, megszüntetve azok korábbi leíró jellegét.

Elméletében Milankovics világosan kifejtette, hogy különböző földrajzi szélességeken a besugárzás mértéke miként változik a földpálya lapultságának, a Föld tengelyferdeségének, a precesszióknak és a perihélium precessziójának függvényében.

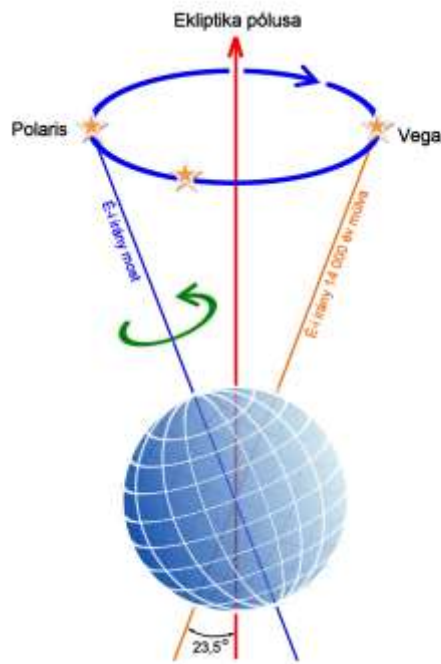
A földpálya excentricitás változásának periódusa  $e = 92\ 000$  (kerekítve  $100\ 000$ ) év.

Luniszoláris precesszió. Periódusa  $P = 25\ 771,5$  (kerekítve  $26\ 000$ ) év. A Nap és a Hold gravitációs erőhatására a forgó Föld azzal válaszol, hogy az erőre merőleges irányban a Föld forgástengelye kúpos mozgásba kezd  $23,5^\circ$ -os nyílásszöggel. (A jelenség fizikailag megegyezik pl. a megpörgetett bűgőcsiga forgástengelyének kúpos mozgásával, amit már mindannyian megfigyelhettünk.) Minthogy a jelenséget a Hold és a Nap hatása együttesen okozza, luniszoláris precesszióknak nevezzük.

A jelenség abban nyilvánul meg, hogy a Földhöz szilárdan rögzítettnek képzelt forgástengely az égboltnak folyton más pontjára mutat, állandóan változik az égi pólusok helye. A számítások szerint, rendkívül lassan,  $25\ 771,5$  év alatt - kerekítve  $26$  ezer év alatt - a pólusok egy-egy  $23,5^\circ$  sugarú kör mentén az óra járásával megegyező irányban körbejárnak az égbolton. Éves elmozdulása  $50,288$  ívmásodperc. Jelenleg az északi égi pólus a Kis Göncöl rúdjának utolsó csillaga, a Sarkcsillag (UMi) közelében van. A precesszió miatt egy ideig az égi pólus még közeledik a Sarkcsillaghoz, majd utána egyre távolodik és kb.  $13$  ezer év múlva a Lant csillagkép legfényesebb csillagának, a Vegának közelében lesz. Meglátunk majd olyan csillagképeket is, amelyek most nem jutnak a látóhatár fölé, ugyanakkor eltűnik a megszokott, ismerős csillagképek egy része.



A precessziós mozgás további következménye, hogy az égi egyenlítő és az ekliptika metszéspontjai, a tavaszpont és az őszi pont 26 ezer év alatt hátráló mozgással végigvándorol az állatövön. A tavaszpont kb. 2150 (pontosabban 2148) évig tartózkodik egy-egy állatövi jegyben. Kétezer évvel ezelőtt a Kosban volt, ma már a Vízöntő és a Halak határa közelében van, és újabb 2150 év múlva a Bak és a Vízöntő határán lesz.



### Apszidiális precesszió

A perihélium precessziója ( $\omega$ ). Periódusa 112 000 év. A perihélium ekliptikai hosszúság-változásának oka a Nap és a bolygók együttes gravitációs hatása. Ennek során a pálya félnagy tengelye a pályasíkból az óra járásával ellenkező irányban lassan körbefordul, ami évi  $50,37''$ -es elmozdulást jelent direkt irányban. Jelenleg a napközelség dátuma január 5. Például 10 700 év múlva a napközelség naptári dátuma július elején lesz. Azt gondolhatnánk, hogy ekkor a Föld északi féltekéje erősebb besugárzást kap majd, bár az excentricitás kisebb lesz a mai értéknél. Csakhogy a precesszió miatt 13 ezer év alatt a forgástengely égi iránya is átfordul 180 fokkal.

**Földtengely dőlésszögének ( $\epsilon$ )** – más szóval az ekliptika ferdeségének – változása. Oka a planetáris precesszió. Milankovics elméletéből következik, hogy az  $\epsilon$  értékének kismértékű változása nagyon erős klimatológiai kontrasztot okoz az alacsony és magas földrajzi

szélességek között. Értéke 41 ezer éves periódussal ingadozik  $24^{\circ} 33' 30''$  és  $21^{\circ} 55' 32''$  között, jelenleg  $23^{\circ} 26' 26''$ , és napjainkban csökken. A tengelyferdeség maximuma utoljára i.e. 7700-ban volt, és a minimumot majd i.sz. 11800 körül éri el. A megnövekedett dőlésszög növeli a besugárzás szezonális ciklus amplitúdóját, több napsugárzást biztosít mindkét félteke nyarán, télen kevesebbet. Nagy  $\varepsilon$  értéknél nagyobb lesz az egyenlítői övezet átlagos hőmérséklete, kis  $\varepsilon$  esetében pedig kisebb. Hatására a térítő körök az Egyenlítő felé, a sarkkörök pedig a pólusok felé közelednek évente 14,5 méterrel. Ez ugyan kis értéknek tűnik, de emiatt évente a forró öv  $1000 \text{ km}^2$ -rel nő, a hideg öv  $450 \text{ km}^2$ -rel csökken!

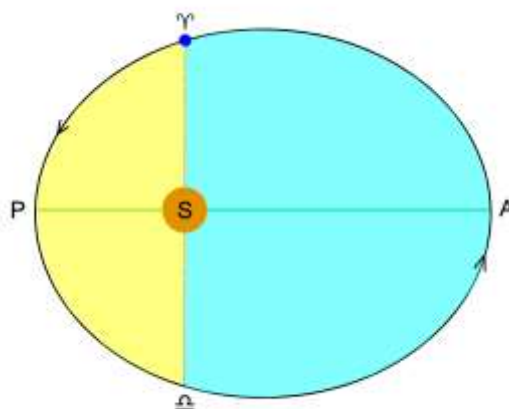
Ha csak az apszidiális precessziót vennénk figyelembe, akkor a Föld kardinális pontjainak helyzetei (nap-éj egyenlőségek és a napfordulók) 28 ezer évenként 90 fokkal megváltoznának. A képbe belejátszik azonban a luniszoláris precesszió, amely kb. 13 000 évenként a földtengely térbeli irányát 180 fokkal megfordítja.

Az apszidiális és a luniszoláris precessziót kombinálva a következőt kapjuk:

$$1/P' = 1/P + 1/\omega, \text{ vagyis } 1/P' = 1/25\,771,5 + 1/112\,000 = 20\,950 \text{ év (kerekítve } 21\,000 \text{ év)}$$

A  $P'$ -t a továbbiakban **virtuális precesszió**nak fogjuk nevezni. Értéke az utolsó 300 000 évben 20 800 és 23 230 év között változott a planetáris perturbációk miatt.

A földpálya nagytengelelyének a tavaszpont irányával bezárt szöget nevezzük a **klimatikus fázisszögnek**, jele:  $\phi$



$\phi = 270$  fok esetében a perihélium átmenet egybe esik az É-i féltekén a nyári napfordulóval. Amikor a Föld az  $\gamma$  és  $\omega$  pontban (tavasz és őszi pont) tartózkodik, a Nap az egyenlítő



síkjában van. A perihélium pontban viszont az egyenlítő fölött a legmagasabban áll. Az A pontban (afélium) pedig az egyenlítőtől délre a legalacsonyabban. Klimatológiai értelemben a nyár időtartama az, amíg a Föld eljut az  $\Upsilon$  -ből a P-n keresztül az  $\Omega$  pontba. A tél időszaka pedig, amíg a Föld eljut az  $\Omega - A - \Upsilon$  pontba. Az  $\Upsilon - P - \Omega - S$  terület nagyobb, mint az  $\Omega - A - \Upsilon - S$  terület. Azt is figyelembe kell venni, hogy Kepler második törvénye értelmében az égitestek aféliumban lassabban haladnak pályájukon, mint perihéliumban. Ezért a tél rövidebb lesz, mint a nyár. A déli féltekén éppen fordítva van. A téli és a nyári félév hossza közötti különbséget a következő képlettel lehet kiszámítani:

$$\Delta T = (4e/\pi) \times \sin \phi \times 365,24 \text{ nap}$$

A képlet megoldásából adódik, hogy a legnagyobb különbség  $\phi = 90$  és  $270$  foknál adódik. Például ha  $e = 0,05$  és  $\phi = 270$ , akkor a nyári félév 25 nappal hosszabb a télinél. Ez önmagában 14%-kal több besugárzást jelent.

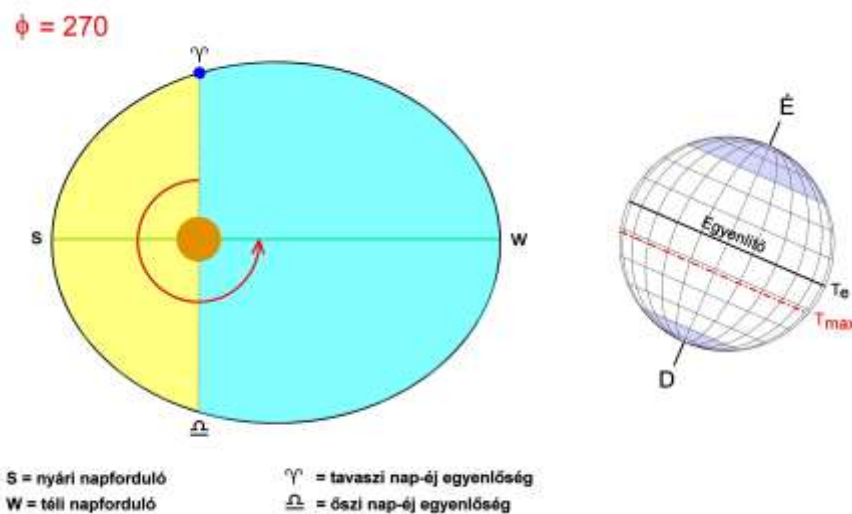
Rövid nyár alatt az északi félteke pontosan ugyanannyi napsugárzást kap, mint a déli félteke a hosszú nyár alatt. Ugyanez vonatkozik a télre is. Ezért, ha  $\phi = 90$  fok és  $e = 0,05$  akkor az északi félteke 14%-kal több sugárzást kap egy nyári napon, mint a déli egy nyári napon.

Ez mindkét féltekére érvényes. A magas szélességi körökön a besugárzás kontrasztjai: a féltekék közötti különbség nagyobb, alacsony szélességi körökön kisebb. A 2. ábrán látható, hogy ha  $\phi = 270$ , akkor az északi nyarak rövidek és melegek lesznek, a tél pedig hosszú és hideg. A déli nyarak hosszúak és hűvösök lesznek, a tél pedig rövid és enyhe. Így a szezonális kontrasztok maximálisak lesznek az É-i féltekén, és minimálisak a délin.

### **A $\phi$ különböző értékeinek hatása az eljegesedésekre.**

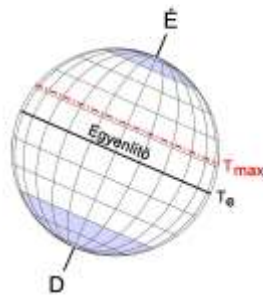
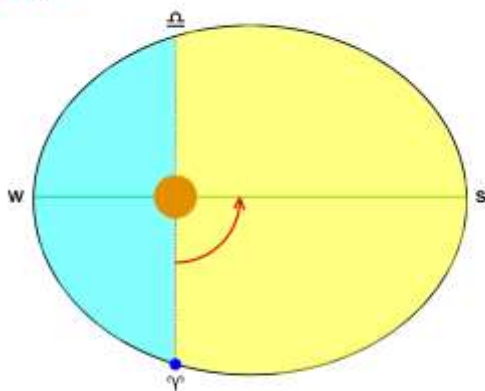
Milankovics azt állította, hogy hűvös nyarakon és enyhe teleken az éves csapadék mennyisége nagy lesz. A forró nyár és az azt követő hideg tél során viszont az éves csapadékmennyiség kicsi lesz. Mivel a gleccserek a sok csapadéktól nőnek,  $\phi = 90$  esetén a déli féltekén lesz kedvezőbb a helyzet ilyen szempontból, és nem az északin.  $\phi = 0$  vagy  $180$  esetében a gleccserek növekedése mindkét féltekén azonos ütemű lesz. Végül  $\phi = 270$  foknál az északi féltekén lesz kedvezőbb a helyzet a nagy eljegesedések szempontjából.

Az É-i és a D-i félteke között jelentkező aszimmetria annak a ténynek köszönhető, hogy a Föld pályája nem kör, hanem ellipszis. Ráadásul az ellipszis excentricitása periodikusan változik. Ennek eredménye az lesz, hogy az É-i féltekén nagy eljegesedések következnek be, amikor  $\phi = 270$  fok és az excentricitás ( $e$ ) nagy, a földtengely dőlésszöge ( $\varepsilon$ ) pedig minimális. A nagy déli eljegesedések viszont akkor fordulnak elő, amikor  $\phi = 90$  fok, az excentricitás nagy és  $\varepsilon$  kicsi. Ezek olyan alapvető szabályok, amelyekkel Milankovics megtalálta azokat az időszakokat, amikor nagy eljegesedések, azaz jégkorszakok fordultak elő.



Az ábra a  $\phi = 270$  fokos helyzetet mutatja. Kepler második törvénye értelmében a Föld napközelben gyorsabban halad a pályáján, mint naptávolban. Ezért az É-i féltekén rövidebb ideig tart a nyár (sárga terület), mint a délin. A téli napforduló pedig a legnagyobb naptávolságnál következik be. Mivel a termikus egyenlítő ( $T_{\max}$ ) déli irányba tolódik el, az É-i jégsapka nagyobb lesz, mint a déli.

$\phi = 90$

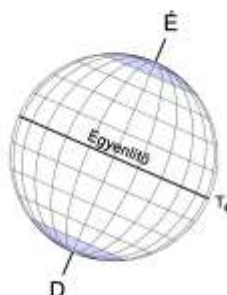
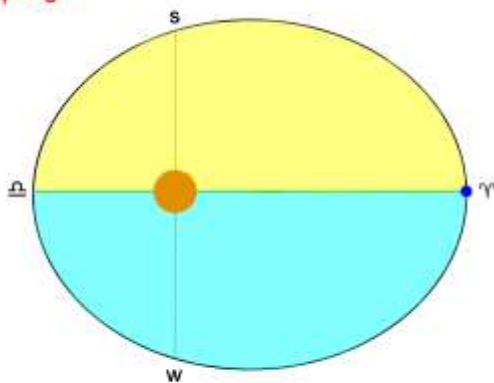


S = nyári napforduló  
W = téli napforduló

γ = tavaszi nap-éj egyenlőség  
Ω = őszi nap-éj egyenlőség

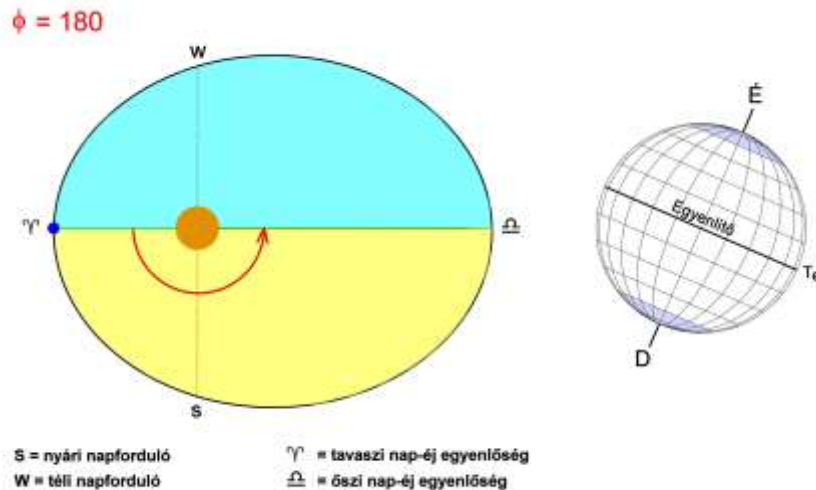
Amikor  $\phi = 90$  fok a nyár az északi féltekén hosszabb ideig tart. A termikus egyenlítő a földrajzi egyenlítőhöz képest északra tolódik, ezért ennek a féltekének átlaghőmérséklete is nagyobb lesz. Az északi félgömb jeges területe zsugorodik, a délié pedig megnő.

$\phi = 0$



S = nyári napforduló  
W = téli napforduló

γ = tavaszi nap-éj egyenlőség  
Ω = őszi nap-éj egyenlőség



Amikor  $\phi = 0$  vagy  $180$  fok, a nyári félév és a téli félév egyenlő hosszúságú mindkét féltéken, ezért a jégsapkák is egyformák lesznek mindkét területen. A termikus egyenlítő egybeesik a földrajzi egyenlítővel.

### Felelős-e a szén-dioxid?

Önmagában a Föld csillagászati pályaelem változásának fenti taglása már magyarázattal szolgál a periodikusan jelentkező eljegesedésekre. A globális klímaváltozások okaira a Milankovics elmélet jó válasznak bizonyul. Nem állíthatjuk meg a globális felmelegedést, mint ahogy a Föld forgását sem. A Föld története során felmelegedések és lehűlések, forró, száraz időszakok és jégkorszakok sokasága követte egymást. Most sincs másképp. A sok tudománytalan politikai öklirázás helyett viszont felkészülhetnénk a felmelegedéssel járó meteorológiai katasztrófák elhárítására.

Meg kell azonban említeni, hogy a felmelegedési és lehűlési periódusoknak számos egyéb oka is lehet, amelyek módosíthatják az egyes területeken kialakuló jégkorszakok tartamát és intenzitását.

Fontos tényező a domborzat tagoltsága és a tengerszint feletti magasság. A nagyobb hegláncok, hegység-rendszerek mintegy „klímaválasztóként” is működhetnek, fontos szerepük van a csapadékeloszlás kérdésében is.

A domborzat változási – hegységek kiemelkedése vagy lesüllyedése – a globális széláramok útját és erősségét befolyásolják, áttételesen szintén hatnak egy adott terület klimatikus viszonyaira.

Talán az egyik legjelentősebb hatást az óceáni áramlások gyakorolják az éghajlati övek hatáira. Például a Golf-áramlás nagymennyiségű hőt szállít Európa nyugati területeire. Ha valamilyen oknál fogva ez az áramlat megszűnne (félő, hogy bekövetkezik!), akkor Európa éves átlaghőmérséklete kb. 8-10 C fokkal csökkenne. Ennek az egész bolygót átívelő szállítószalagnak számtalan éghajlati hatása van az Atlanti-óceán mindkét oldalán, enyhén tartja Floridában és az Egyesült Királyságban az időjárást, befolyásolja a ciklonok útját és erősségét, és hatása van a tengerszintre. A közvetlen mérések 2004-es megkezdése óta azonban a tudósok nyugtalanító dolgot fedeztek fel: az áramlat egyre lassabb és gyengébb.

Másik fontos tényező a lemeztektonika. A szárazulatok és óceánok pillanatnyi eloszlása nagymértékben befolyásolta az É-i vagy a D-i félgömb felmelegedését. A kőzetlemezek mozgása szüntelen változásra kényszerítette a meleg és hideg óceáni áramlatokat, amelyek igen jelentős szerepet játszanak a földrészek átlaghőmérsékletének és így éghajlatának alakításában.

Mintegy másfél milliárd évvel ezelőtt például a kontinensek az egyenlítő közelében helyezkedtek el. Körülbelül 1,3 milliárd évvel ezelőtt már szinte valamennyi az északi félgömbön volt található. 1 milliárd évvel ezelőtt egy részük a déli féltekére „úszott” azt eredményezve, hogy eloszlásuk egyenletes volt. A folyamat folytatódott, és 850 millió évvel ezelőtt a déli féltekére esett a kontinensek nagy része. Kb. 350 millió éve a déli félteként összeállt a legnagyobb egybefüggő kontinens a Pángea, amely 200 millió évig fennállt, miközben lassan észak felé tolódott. A mai képet kialakító drámai változás 150 millió évvel ezelőtt történt, amikor is elkezdődött a Pángea feldarabolódása. 80 millió évvel ezelőtt a Kréta korban már kialakultak a mai kontinensek ősei; É- és D-Amerika, Afrika, Ázsia, India, Ausztrália és az Antarktisz nagyobb egységei. 40 millió éve történt, hogy az észak felé haladó Indiai lemez „megtorpedózta” az Ázsiai lemezt, felgyűrve a Himaláját. Afrika és az Eurázsiai lemez között a Tethisz-óceán bezárult, az Eurázsiai hegységrendszer nyugati fele is felgyűrődött.

A Milankovics klímaelméletében felsorolt tényezők külön-külön, de együttesen is hatnak a Föld éghajlatára. A hatások szuperponálódnak, van, amikor erősítik, van, amikor gyengítik egymást.

Milankovics egyesítette a ciklusokat azért, hogy átfogó matematikai modellt hozzon létre a besugárzás változásainak vizsgálatára több tízezer, vagy akár sok százezer évre kiterjedően. A modell olyan, mint egy klíma-időgép; visszafelé és előre is futtatható, hogy megvizsgálja a múlt – és jövőbeli globális klimatikus állapotokat.

Számításai szerint a jégkorszakok körülbelül 41 000 évente fordulnak elő. A későbbi kutatások megerősítették, hogy 1–3 millió évvel ezelőtt is ilyen időközönként fordultak elő. De körülbelül 800 000 évvel ezelőtt a jégkorszak ciklusa 100 000 évre nyúlt, ami megegyezik a földpálya excentrikus ciklusának és az apszidiális precesszió ciklusának együttes hatásával.

Milankovics munkáját korának más kutatói is támogatták, és számos publikációt írt hipotéziséről. Ám csak 10 évvel halála után, 1958-ban kezdte a világ tudományos közössége komolyan venni az elméletét. 1976-ban a Science folyóiratban Hays és Emiliani mélytengeri üledékmagok felhasználásával megállapította, hogy a Milankovitch-ciklusok megfelelnek az elmúlt 450 000 év jelentős éghajlat változási periódusainak, és a jégkorszakok akkor következtek be, amikor a Föld pályaelem változásai az elméletnek megfelelő szakaszban voltak.

Végezetül még két csillagászati tényezőről kell beszélni. Az egyik az úgynevezett napállandó, a másik a Föld forgási sebességének változása. Ez utóbbi hatással lehet az óceánoknak a napsugárzást elnyelő (abszorbeáló) képességére az úgynevezett hőtehetetlenség miatt. Adott vízmennyiség felmelegedéséhez illetve lehűléséhez meghatározott időre van szükség. Gyorsabban forgó Föld esetében ez az időtartam lerövidül. Márpedig a Hold okozta ár-apály súrlódás miatt bolygónk forgása folyamatosan lassul.

A napállandó a Nap kisugárzott energiamennyiségének az a része, mely eléri a földi légkört. A földi légkör 1 négyzetméterére merőlegesen beeső teljesítmény 1361 watt. Ez a mennyiség a napállandó. Ez a sugárzás sokféle hullámhosszból áll össze, úgy mint: rádióhullám, infravörös fény, látható fény, UV fény, röntgensugárzás, stb. Értéke a Nap-Föld távolságából és a Naptól érkező energia mennyiségétől függ, ezért a szó szoros értelmében nem tekinthetjük állandónak. Ezért a "teljes szoláris besugárzás" elnevezés használata helyesebb. Függ a Nap energiatermelésének változásától, a naptevékenységtől és a mágneses hatásoktól. A napállandót több, mint 100 éve mérik, de műholdas mérése csak 1978-ban kezdődött. Az azóta ismert adatsorok azt mutatják, hogy jelentős ingadozások léphetnek fel

a Napból érkező energiamennyiségben. Arról természetesen nem lehet mérési adatunk, hogy értéke hogyan változott a múltban nagyobb, mondjuk százéves, vagy millió éves időtartamban. Annyit azonban tudunk, hogy a Naprendszer keletkezése óta a Nap sugárzási intenzitása kb. 30%-kal növekedett, és ez a folyamat a mai napig tart. Napunk, mint egy főszorozatbeli csillag, keletkezését követően „hidegebb” volt és csak fokozatosan melegedett fel arra az értékre, amit napjainkban tapasztalunk. Belsejében az energiatermelést a hidrogén atommagok fúziója biztosítja, melynek során hélium-magok keletkeznek. A hélium egyre nagyobb tömegben koncentrálódik a magjában, minek következtében a hidrogén-fúzió kitolódik annak felszínére. Így a fúzió zónája egyre közelebb kerül a csillag felszínéhez, ahonnan a felszabaduló sugárzó energia könnyebben ki tud jutni. A napfizikusok által általánosan elfogadott tény, hogy a fiatal Nap mindössze 70%-át produkálta a mai sugárzási teljesítményének (luminozitásának).

### **A klímaváltozás megállítása?**

A globális éghajlati felmelegedési és lehülési ciklusok több százezer éve természetes jelenségek, és nem valószínű, hogy ezek a drámai klímaváltozási ciklusok valamikor is megszűnnének. Mint láttuk, ennek legfőképpen kozmikus okai vannak. Önmagában az emberi tevékenységből származó CO<sub>2</sub> gáz kibocsátása nem elegendő a bolygó középhőmérsékletének megemelkedéséhez!

A 186 milliárd tonna szén-dioxidból, amely minden forrásból évente bekerül a Föld légkörébe, csak 6 milliárd tonna származik emberi tevékenységből. Körülbelül 90 milliárd tonna származik a földi óceánok biológiai aktivitásából, és további 90 milliárd tonna olyan forrásból, mint a vulkánok és a bomló szárazföldi növények. A kb. 410 ppm-es szén-dioxid a Föld légkörének kismértékű alkotóeleme - az összes gáz 1%-ának a 4/100 része. A korábbi geológiai időkhez képest a Föld jelenlegi légköre szén-dioxid szegény. A CO<sub>2</sub> szagtalan, színtelen és íztelen. A növények elnyelik a szén-dioxidot, és oxigént bocsátanak ki. Az emberek és az állatok oxigént lélegeznek be és CO<sub>2</sub> -t bocsátanak ki. A szén-dioxid nem szennyező, hanem tápanyag, valamennyi élő növényeknek és állatnak egyaránt szüksége van rá. Minden élet a földön szén-alapú, és alapvető összetevője a CO<sub>2</sub>. Amikor a növénytermesztők stimulálni akarják a növények növekedését, több szén-dioxidot vezetnek

be a melegházakba. A légkörbe kerülő CO<sub>2</sub> nem marad ott, nem halmozódik fel, hanem a szárazföldi élővilág és az óceánok fitoplankton állománya folyamatosan újrahasznosítja, ezzel részt vesz egy természetes körforgásban. Lehet, hogy ma globális felmelegedési válságban vagyunk, de az ipari szén-dioxid kibocsátás korlátozására irányuló legagresszívabb és legköltségesebb javaslatok is elhanyagolható hatással lennének a globális klímára!

Kétségtelen, hogy az utóbbi időben drasztikusan emelkedni kezdett az alsólégkör szén-dioxid tartalma. És növekszik az évi átlaghőmérséklet is. De vajon van-e ok-okozati összefüggés a kettő között? És ha igen, akkor milyen irányú? Részletesebb, nagyobb időfelbontással dolgozó vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a hőmérséklet emelkedés általában megelőzi (!) a szén-dioxid tartalom növekedését. Azzal lehet összefüggésben, hogy a hideg vízben a CO<sub>2</sub> sokkal jobban oldódik, mint a meleg vízben. A melegedő óceánok nem tudnak annyi szén-dioxidot megkötni.

Tudomásul kellene venni, hogy jelenleg a 10 000 évvel ezelőtt véget ért jégkorszak utáni felmelegedő, úgynevezett interglaciális időszakban vagyunk, aminek csillagászati és egyéb okai vannak. Ha nem élnének emberek a Földön, ez akkor is így történe.

**NEM LÉTEZIK EMBER ÁLTAL OKOZOTT GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS!**

Gesztesi Albert

Vác, 2021.