

# A KLÍMAVÁLTOZÁSOK ÉS A NAPTEVÉKENYSÉG LEHETSÉGES KAPCSOLATAI

MOLNÁR GYULA

## Bevezetés

Napjainkban egyre inkább újjáéled a naptevékenység különböző formá és az időjárás közötti lehetséges kapcsolatok kutatása. A vélemények sokszor homlokegyenest ellentétesek, s bár a naptevékenység-időjárás kapcsolatok híveinek hangja erősebbnek tűnik, az ilyen összefüggések realitása, ill. létezése még mindig kérdéses. WILCOX et al. (1974) továbbá HINES és HALEVY (1977) pl. posztuláltak egy lehetséges összefüggést, de pl. LARSEN és KELLEY (1977) numerikus szimulációs vizsgálattal nem tudták kimutatni ennek a fennállását.

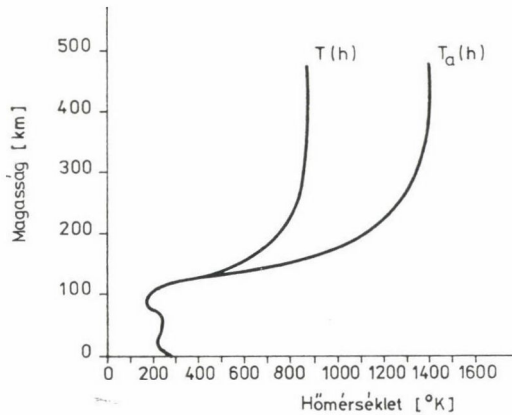
Más típusú összefüggés lehet azonban a hosszabb periódusú naptevékenység-szint változások és a szekuláris klímaingadozások között. Ekkor tehát bizonyos hosszán tartó naptevékenységszinteket tekintünk, mint pl. a Maunder-minimum vagy a Középkori-maximum (pl. EDDY, 1976, 1977). Amint azt pl. HEATH (1973) és WÖHL (1978) kifejti, a spektrális napállandónak különösen a rövidhullámú része mutat nagy változásokat (a korpuszkuláris sugárzás intenzitása mellett) a 11—11,5 éves naptevékenységi ciklus során, s ez, valamint a napszél erősen (kimutathatóan) megváltoztatja a felső légkör jellemzőit.

A felső légkör naptevékenység hatására történő állapotváltozásai ma már — hála főképpen a műholdas technikának — megfigyelhetőek, s ezek alapján a lehetséges indirekt, alsó légkörbeli (troposzférikus) hatások is megbecsülhetőek. Közvetlen időjárási anomáliák léphetnek fel a — főleg a látható spektrumtartományban bekövetkező — napállandóváltozások hatására. Ezek a lehetséges napállandófluktuációk elméletileg, ill. empirikusan becsülhetőek a Nap sugárzási fluxusának modellje(i)ből, ill. méréseiből.

### *A légkör energiaszintjének megváltozása a naptevékenység hatására*

A naptevékenység aktív periódusaiban a Nap megnövekedett rövidhullámú elektromágneses fluxusa, ill. korpuszkuláris sugárzása hatására megváltozik a felső légkör energiaszintje. Amennyiben folyamatosan (és globálisan) mérjük a felső légkör különböző paramétereit, meg is becsülhetjük ezt az energiaszint-változást, hiszen bizonyos paraméterek mérhető módon megváltoznak a naptevékenység hatására. Természetesen a globális érvényességű becsüléshez szükséges műholdas adatok még nem állnak rendelkezésünkre hosszú idő-

szakra, azonban a következőkben leírandó nagyságrendi becsléshez pl. egy nyugodt periódusra vonatkozó átlagértéket úgy tekinthetünk, mintha az hosszantartó napaktivitás-hiányra (pl. Maunder- vagy Spörer-minimum) vonatkozna, mivel a légkör relaxációs ideje relatíve rövid.



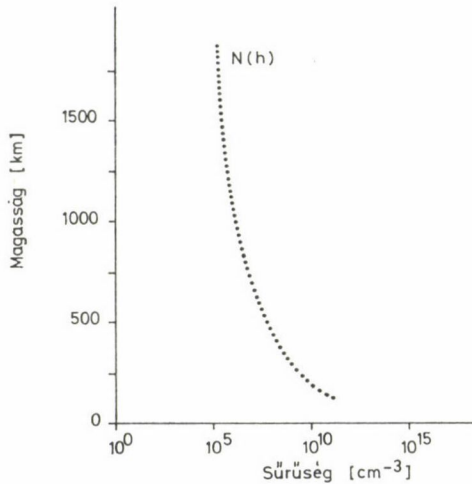
1. ábra. A Föld légkörének átlagos hőmérsékleti profiljai a naptevékenység maximális ( $T_a$ ) és minimális ( $T$ ) periódusaiban

Tekintsünk először egy olyan időszakot, amikor a naptevékenység gyakorlatilag szünetel, s jellemezze a légkör termikus állapotát a  $T(h)$  átlagos vertikális hőmérsékleti profil, ahol „ $h$ ” a magasságot jelöli. A kinetikus gázelmélet szerint ekkor az egy molekulára eső átlagos energia  $3/2 k T(h)$ , s „ $k$ ” a BOLTZMANN-konstans. A naptevékenység átlagosan aktív időszakában a légkörnek egy új termikus állapota alakul ki, melyet egy másik átlagos hőmérsékletelosztás,  $T_a(h)$  jellemez. Az 1. ábrán láthatjuk ezeket a hőmérsékleti profilekat IZAKOV (1976) munkája alapján.

Jelölje  $N(h)$  az egy  $\text{cm}^3$ -ben levő levegőmolekulák számát Ezt az átlagos függélyes sűrűségeloszlást a 2. ábra mutatja. Ezen adatok alapján már meg lehet becsülni azt a tényleges energiatöbbletet, mely valóban elnyelődik a légkörben a naptevékenység következményeként. Az eredményt a következő térfogati integrál adja:

$$E_{ex} = \frac{3}{2} k \int_V N(h) [T_a(h) - T(h)] dV. \quad (1)$$

Az (1)-ben szereplő integrált numerikusan értékeltük ki, a légkör napaktivitás által mérhetően befolyásolt részét 21 rétegre bontva, s eredményül az  $E_{ex} \approx 10^{22}$  erg értéket kaptuk. Megjegyezzük, hogy más (pl. USSA standard atmosphere) adatokból, ill. a naptevékenység hatására fellépő sűrűségváltozások figyelembe-



2. ábra. A Föld magaslégkörének átlagos sűrűségprofilja

vételével némileg eltérő számértéket nyerhetünk, de nagyságrendi becslésként (1) is helyes eredményt ad. A fent meghatározott többletenergia meghatározása azért lényeges, mert arra az energiafelvételre jellemző, amelyet a naptevékenység különböző megnyilvánulási formái *ténylegesen* okoznak a Föld légkörében, tehát csak a Földet *valóban* elérő „naphatásokat” vesszük figyelembe. Szükségünk van még ennek az energiátöbbletnek a fluxusára is, s ehhez meg kell becslnünk az energiátranzport sebességét. BUCHA (1977) szerint a légkör felső határától a legalsó, napaktivitás által *mérhetően* befolyásolt szintig (mintegy 128 km) ez a többletenergia 1–5 nap alatt ér el. Maximális becsléshez használjuk az 1 napos értéket, így a naptevékenység átlagos értéke semmiképp sem generálhat nagyobb lefelé irányuló energiafluxust, mint:

$$\Phi_{E_{ex}} \approx \frac{10^{15} \text{ J}}{4R^2 \pi \cdot 1 \text{ nap}} \approx 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ W m}^{-2}, \quad (2)$$

ami kevesebb mint a napállandó miatt fellépő energiafluxus  $2 \cdot 10^{-6}\%$ -a. Itt „ $R$ ” a Föld átlag-sugara. Megjegyezzük, hogy a korpuszkuláris és mágneses energiafluxus átlagos napaktivitásnak megfelelő értéke mintegy  $4 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$  (BUCHA, 1977), a magnetoszféra sugarát  $\approx 10 \cdot R$ -nek tekintve. Ez nincs ellentmondásban (2)-vel, mert mint említettük  $E_{ex}$  magában foglalja az összes lehetséges hatást.

### *Összehasonlítás néhány meteorológiai jelenség energiájával*

Az átlagos sűrűségprofil alapján megbecsülhető a naptevékenység által mérhetően befolyásolt levegőmolekulák száma. Ez mintegy  $2,1 \cdot 10^{35}$ -nek adódott, s mivel a légkör molekuláinak teljes száma közelítőleg  $1,095 \cdot 10^{44}$ , az

$E_{ex}$  energia miatti átlagos hőmérsékletemelkedés a teljes légkörre csak kb.  $5 \cdot 10^{-7} K$  lenne. Ez nagyon jelentéktelennek látszik, tételezzük fel azonban azt — a termodinamikailag egyébként igen valószínűtlen esetet —, hogy ez az  $E_{ex}$  energia egy viszonylag kicsiny térfogatban akkumulálódik, s eléri a troposzférát.

Vizsgáljuk meg először, mi történik, ha  $E_{ex}$  teljes mértékben kinetikus energiává alakul. Tegyük fel, hogy egy  $m$  tömegű légtömeg 0-ról 40 km/h-ra gyorsul fel az  $E_{ex}$  energia elnyelése révén. Ebből  $m = 1,62 \cdot 10^3$  kg adódik, ami megfelel egy közelítőleg  $1,3 \cdot 10^3$  km<sup>3</sup>-es, vagyis egy pl. 114 km · 114 km · 1 km-es méretekkkel rendelkező légtömegnek. Ez a mozgó légtömeg MONIN (1972) szerint egy átlagos ciklon energiájának tizedrészével rendelkezik. Ennek ellenére a trigger-mechanizmus hívei mégiscsak mondhatják, hogy ez a mozgó légtömeg „kibillenthet” az egyensúlyból sarkvidéki légköri képződményeket. Figyelembe kell vennünk azonban, hogy valóságos légköri állapotváltozásoknál a fő szerepet a belső energia megváltozása játssza (disszipációs hőátadás útján), míg a kinetikus energia megváltozása és így a horizontális bárikus erőnek köszönhető translációs-munka megnövekedése sokkal kisebb (mintegy 2 nagyságrenddel). Ez azt jelenti, hogy a  $\Phi_{E_{ex}}$  energiafluxus „nem szívesen” generál kinetikus energiaváltozást, tehát a *reális* légkörben kicsi a triggerreffektus (pl. az Azori anticiklon áramlási mezejének megváltoztatásában) valószínűsége.

Az elmondottakra tekintettel másodszor vizsgáljuk meg egy troposzférikus légtömeg  $E_{ex}$  hatására bekövetkező belső energia változásának lehetséges hatását. Tekintsünk egy meglehetősen vastag felhőt, melynek alapja 1 km-es magasságban van. Tegyük fel, hogy a felhő magasabb albedója miatt a levegő átlagosan 5 K-es alacsonyabb hőmérsékletű lesz, mint felhőmentes esetben. Számítsuk most ki, hogy mekkora lehet annak a felhőnek a mérete, mely ily módon  $E_{ex}$  energiát nyel el. A levegő sűrűségét 1 km-es magasságig a felszínivel egyezőnek feltételezve azt kapjuk, hogy a felhőnk mintegy 20 · 20 km-es.

Ez 7,5 · 10<sup>-5</sup>%-a a hozzávetőlegesen 50%-os globális felhőfedettségének. A legújabb felhőzet-felszíni hőmérséklet kölcsönhatást modellező számítások (pl. SCHNEIDER et al. 1978) szerint ez a felhő a felszín átlaghőmérsékletét 5,5 · 10<sup>-5</sup> K-el csökkentené.

A fenti összehasonlítások tisztán utalnak arra, hogy a naptevékenység *átlagos* szintje nem befolyásolhatja jelentősen a szekuláris klímaingadozásokat a *termoszférikus változásokon* keresztül.

Természetesen a felső légkör alsóbb szintjein is jelentkezhetnek *megfigyelhető*, naptevékenység által generált változások. A Nap ultrabolya fluxusának változékonysága különösen fontos az alsó mezoszféra és a sztratoszféra magasságában, mivel itt olyan fotokémiai reakciók játszódnak le, melyek ózon-koncentráció- és hőmérséklet-változásokhoz vezetnek a napfoltciklus folyamán. Legújabban CALLIS és NEALY (1978), CALLIS et al. (1979) és HEATH (1980) ta-

lált arra vonatkozó bizonyítékokat, hogy az ózonkoncentráció változásainak és a sztratoszféra hőmérsékletingadozásainak trendjei valószínűleg nagymértékben függenek a naptevékenységtől. Ezek a változások pedig okozhatnak pl. felszínhőmérséklet fluktuációkat is, melyek nagyságát — ún. sugárzási-konvektív — fotokémiai modelleket felhasználva — CALLIS et al. (1979) és POLLACK et al. (1979) meg is becsülték.

Eredményeik szerint maximálisan  $\approx 0,1$  K hőmérsékletcsökkenés várható a felszínen a naptevékenység *maximума* idején.

Az e fejezetben leírt megfontolások arra utalnak, hogy a magaslégkörben fellépő, naptevékenység okozta változások nemigen okozhatnak jelentős változásokat a troposzférában, még indirekt módon sem.

### *A naptevékenység különböző megjelenési formáinak hatása a napállandóra a látható spektrumban*

Az eddigiekben vázolt, naptevékenység hatására bekövetkező magaslégköri változások legfőképpen a Nap elektromágneses spektruma nagyenergiájú részének intenzitásnövekedése, ill. a korpuzskuláris sugárzás megerősödése következtében lépnek fel. Másrésztől viszont a naptevékenység hatására változások következhetnek be a látható napsugárzás intenzitásában is. Ennek megbecslése azért különösen érdekes, mert az ebben a színeképtartományban emittált fotonok gyakorlatilag *közvetlenül* befolyásolhatják a troposzférát, ill. a felszínt, lényegében függetlenül magaslégköri effektusoktól.

E célból először kiválasztottunk egy olyan időszakot, amikor szokatlanul sok flert figyeltek meg a Napon — mivel ezek a legerősebb tranziens jelenségek —, s a flerek energiájuknak közelítőleg a felét a látható színeképtartományban sugározzák ki (a többi túlnyomórészt pedig korpuzskuláris sugárzásként). Az 1957 júliusától 1958 decemberéig terjedő periódusban észlelt flerek gyakorisági eloszlása, valamint átlagos élettartamuk az I. táblázatban látható. Felső becslést alkalmazva a flerek felületegységre eső kisugárzására (kétszeres fler-energiákat vettünk, hogy *egyéb tranziens* jelenségek hatását is figyelembe ve-

I. táblázat

*A Nap felszínén 1957 július és 1958 december között megfigyelt flerek gyakorisági eloszlása, s jellemző tulajdonságaik*

| A flerek mérete<br>(a Nap látható<br>felszínének milliometód<br>részében) | A flerek típusa | Az előfordulás<br>gyakorisága | %-os előfordulás | Átlagos<br>élettartam<br>(perc) |
|---|-----------------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|
| 100—250   | 1               | 6150                          | 92,4             | 17                              |
| 250—600   | 2               | 467                           | 7,0              | 29                              |
| 600—1200  | 3               | 33                            | 0,5              | 62                              |
| 1200 fölött   | 3+              | 6                             | 0,1              | 180                             |

hessük) és elhelyezkedésére, erre az 1,5 éves időtartamra a napállandó megváltozásának felső korlátja közelítőleg a következőképpen adható meg:

$$\overline{\Delta I_s} \approx \frac{6 \cdot 2 \cdot 10^{32} + 0,5 \cdot 33 \cdot 2 \cdot 10^{32} + 0,25 \cdot 467 \cdot 2 \cdot 10^{32} + 0,125 \cdot 6150 \cdot 2 \cdot 10^{32}}{1,5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,25 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 10^{33}} \cdot 100\% = 0,00076\%$$

mivel a Nap kb.  $0,5 \cdot 4 \cdot 10^{33}$  erg energiát sugároz ki másodpercenként a látható fény frekvencia-tartományában. Összehasonlításként megjegyezzük, hogy DESSLER (1975) becslése szerint a napszél energiafluxusa a fenti érték tizede. Egy rövid ideig tartó, nagy flerkitörés idején a napállandó megváltozása már jelentősebb lehet:

Tekintsünk egy jól fejlett 3 + flert, ennek 180 perces élettartama alatt a napállandó megváltozása a látható fény spektrumában durván:

$$\frac{2 \cdot 10^{32} \text{ erg}/(180 \cdot 60 \text{ s})}{0,5 \cdot 10^{33} \text{ erg/s}} \cdot 100\% \approx 0,004\%$$

Hosszabb távon a napállandó lecsökkenhet a napfoltok sugárzásblokkáló hatása következtében, így a napfoltmaximum idején a Nap  $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ -ed része napfoltumbrákkal borított, melyek fényessége mintegy 1/4-e a környező fotoszféra fényességének (HOYT, 1979). A penumbrák, melyek átlagosan ötször nagyobb területet foglalnak el mint az umbrák, kb. fotoszféra fényességének 3/4 részével rendelkeznek (HOYT, 1979).

Ezekből az adatokból azt kapjuk, hogy a napfoltok maximálisan mintegy 0,06%-kal csökkenthetik a napállandót. Ellentétes irányban hatnak a napállandó értékére a szintén hosszabb ideig tartó fotoszféra-kifényesedések (fakulák vagy fáklyák), azonban úgy tűnik nemigen tudják kompenzálni a napfoltok hatását.

Ez azt jelenti, hogy a naptevékenység felületi, külső megnyilvánulási formái maximálisan kb. azonos hatással vannak a földfelszín-hőmérsékletre mint az előző fejezetben tárgyalt sztratoszférikus fotokémiai reakcióváltozások.

Vizsgáljuk most meg, hogy ezek a napállandó-változások indukálhatnak-e valamilyen meteorológiai változást a troposzférában. A következő megfontolások fényében ez nehezen lenne elképzelhető.

A földpálya jelenlegi excentricitása miatt a perihélium és afélium között (mintegy 183 napon belül) a Nap—Föld távolság kb. 5 millió km-rel változik meg, mely tehát átlagosan napi 5/183 millió km-nek felel meg, ami a csillagászati egység 0,0182%-a. Ez napállandóváltozást indukál, ami 0,0364%-osnak adódik *napról napra*, s ez az érték pl. március, április, szeptember és október hónapokban még nagyobb, hiszen a Nap—Föld távolság e hónapokban változik a leggyorsabban.

Mindamellett egy átlagos 12 órás éjszaka alatt a napállandó megváltozása 0,0182%, vagyis minden reggel a légkör egy, napállandó változás szempontjából igen aktív Nappal „találja magát szembe”, hiszen ekkora napállandó-változás 12 órás fenntartásához pl. mintegy 20 db nagy, 3 + fler megjelenésére lenne szükség.

A napfoltok maximális sugárzáscsökkentő hatása jóval nagyobb lehet, mint a flerekkel kapcsolatos luminozitásnövekedés, azonban még mindig csak mintegy kétszerese a *napi* „természetes” napállandóváltozásnak. Ráadásul a napfoltszám egy ilyen maximális értéket csak kb. egy hónap alatt ér el, vagyis a *napi*, napfoltszámváltozás okozta napállandó csökkenés, ill. növekedés csak ~0,002%-os, ami a 12 órás „természetes trigger”-nek az 1/10-e.

Ezek a megfontolások óhatatlanul arra utalnak, hogy sem a legnagyobb flerek (melyek megjelenési gyakorisága nem több évi 4 db-nál), sem a napfoltszámváltozások nem képesek olyan napállandóváltozást okozni mint a napállandó átlagos, 12 órás „természetes” változása, vagyis ha már a naptevékenység triggereffektust idézhet elő, még inkább állhatna ez erre a „természetes” változásra.

Úgy tűnik tehát, hogy nem sok hely marad a trigger-mechanizmus számára a troposzférában. Erre a következtetésre jutott pl. HINES és HALEVY (1977) is, bár szerintük létezhet esetleg még egy ún. „fázis-eltoló” mechanizmus.

A fenti eredményeket hosszabb időtartamra kivetítve úgy tűnik, hogy a MILANKOVICS (1941) elmélettel megegyezésben a Föld pályaelemváltozásai játszhatták a meghatározó szerepet, legalábbis a legutóbbi glaciálisok kialakulásában, hiszen — mint láthattuk —, az ismert maximális naptevékenység-szint is túl „gyenge” lenne ehhez.

Mindamellett nincs is semmilyen asztrofizikai okunk feltételezni azt, hogy a Negyedkorban a naptevékenység szintje a ma ismertnél nagyobb lett volna, sőt a legújabb holdközvet és meteorvizsgálatok *kísérletileg* is igazolják a flerintenzitás és a kozmikus porrészecskék fluxusának meglepő állandóságát legalábbis az utóbbi 5 millió évre (FRENCH, 1980).

Természetesen a kontinensvándorlás, égitestek becsapódásai vagy tektonikus folyamatok is szerepet játszhattak a jégkorszakok kialakulásában, azonban *nem periodikusan*.

Továbbmenve, SUAREZ és HELD (1976, 1979) igen jó egyezést talált a MILANKOVICS-féle besugárzásra támaszkodó modelljük, és nyári tengerfelszín-hőmérsékletek között, melyeket egy észak-atlanti üledékrétegből határoztak meg. Hasonló eredményeket kaptak HAYS et al. (1976) is.

Ezenfelül WEERTMAN (1976) és BIRCHFIELD (1977) azt találták, hogy a besugárzás MILANKOVICS-féle változása megmagyarázza a glaciális jégpajzsok kialakulását, ill. elbomlását. BERGER (1978, 1979) valamint SCHNEIDER és THOMPSON (1979) számításai szintén alátámasztják ezeket az eredményeket.

### Diszkusszió

(i) Az 1. és a 2. pontban leírt megfontolások arra utalnak, hogy a naptevékenység okozta változások közül azok, melyek a felső-légkörön keresztül hatnak, nem elég erősek az időjárás befolyásolására, s különösen nem elegendők szekuláris klímaingadozások keltésére; egyrészt ugyanis a termoszférában keltett energia-változások túl kicsik lényeges troposzférikus effektusok előidézéséhez, másrészt bár az előzőekben említett sztratoszférikus *UV*-, ill. korpuszkuláris sugárzás-változások által indirekt módon indukált 0,1 K körüli felszínhőmérsékletváltozás (pl. CALLIS et al. 1979) nem egészen elhanyagolható, el kell mondanunk, hogy ez a számérték a Nap *UV*-fluxusának olyan modelljéből adódik, amely túlbecsüli a naptevékenység okozta *UV*-változásokat (lásd pl. PITTOCK, 1978).

(ii) A 3. pontban megbecsültük azokat a lehetséges napállandóváltozásokat, melyeket a naptevékenység jelenleg ismert megnyilvánulási formái okozhatnak a látható spektrumtartományban. Eredményeink szerint a napfoltciklus legerősebb *külsődleges* kísérőjelenségei sem elég erősek a troposzférikus folyamatok gyakorlati szempontból (*előrejelzések!*) jelentős befolyásolásához.

Mindamellettt nagyobb mértékű rövid távú, ill. szekuláris napállandóváltozások léphetnek fel olyan okok következtében, melyek nincsenek *szükségszerűen* összefüggésben a Nap felszíni jelenségeivel: DEARBORN és NEWMAN (1978) pl. kimutatta, hogy a konvekció hatékonyságának sztochasztikus változásai a Nap luminozitásának 1%-ot meg nem haladó fluktuációját válthatják ki. Hasonló jellegű számítások segítségével SOFIA et al. (1979) azt kapták, hogy a konvekció hatékonyságának fluktuációi következtében fellépő 1%-os luminozitásváltozás 0,075%-os változásnak felel meg a Nap sugarában.

A Nap sugarának 1850-től 1937-ig terjedő méréseiből 0,33%-os felső korlátot adtak meg a napállandó erre a periódusra vonatkozó esetleges megváltozására.

Egy másik lehetőséget vetett fel DICKE (1978, 1979). Elképzelése szerint a napfoltciklus valamilyen módon kapcsolódik egy belső „kronométer”-hez: a mágneses tér modulációja befolyásolhatja a felületre irányuló energiátanszportot, és így az eredő luminozitást. Ugyanez a folyamat lehet felelős a napfoltciklussal kapcsolatos mágneses mezőkért. Ezenfelül azt találta, hogy amennyiben a *D/H* klímaindikátor (EPSTEIN és YAPP, 1976) a Nap luminozitásváltozásait tükrözi, akkor sem a napfoltok, sem a flerek, sem a napfákylák, sem a naptevékenység egyéb, *külsődleges* megjelenési formái nem lehetnek ezért felelősök, mivel mindezek erős fázisfluktuációt mutatnak, míg ez nem található meg a *D/H* adatokban.

HOYT (1979) szerint az umbra-penumbra felületek arányában (*U/P*) megfigyelt változások a konvektív fluxus ingadozásainak a következményei, mely szintén napállandóváltozásokkal jár együtt. Leírt egy lehetséges össze-

függést az  $U/P$  arány és a Nap forgássebessége között is. Eszerint mostanában, amikor a forgássebesség növekedni látszik (pl. SAKURAI, 1977), az  $U/P$  aránynak csökkenni kell. HOYT levezetése szerint ekkor globális lehűlésnek kell történnie a luminozitás csökkenése miatt. Mindenesetre a mérések ezt nem támasztják alá (LAMB, 1979), sőt a Nap forgássebességének *napfoltmozgásokon* alapuló gondos mérései nem tudtak kimutatni semmilyen hosszabb távú, a napfoltciklussal párhuzamosan történő forgássebességváltozást sem (HOWARD, 1978).

Másrésről, két eset kivételével az USA nyugati részén megfigyelt, a 22 éves HALE-ciklussal esetleg összefüggő szárazságok (MITCHELL et al., 1978) meglehetősen jó egyezést mutatnak az  $U/P$  arányokkal, bár különböző (0–4 év) fáziseltolódásokkal. Gyengíti azonban ezt az összefüggést COOK és JACOBY (1979) eredménye; a Hudson völgyben 26 és 11,4 éves szárazsági periódusokat találtak.

A tisztább kép érdekében el kell mondanunk, hogy akkor, amikor az első 3 fejezet meg gondolásai alapján azt a következtetést vontuk le, miszerint a naptevékenység *hosszabb távú* szünetelése az éghajlatváltozások szempontjából nem jelentős, azzal a feltételezéssel éltünk, hogy a mai napfoltciklus folyamán a Nap átmegy a lehetséges változásai során. Ez a feltételezés azonban kritizálható, mert a fa-évyűrűk radiokarbon mérései szerint az utóbbi 1000 év hosszabb naptevékenységminimumai (Maunder-, Spörer- és Wolf-minimumok) idején a Nap sokkal kevésbé volt aktív, mint egy mai minimum során, legalábbis abból a szempontból, hogy hogyan modulálódnak a galaktikus kozmikus sugarak. Mindazonáltal ezek a C-14 mérések lényegében csak a *napszél*- és *korona*-fluktuációk indikátorai, melyek semmi esetre sincsenek *szükségszerű* kapcsolatban jelentős napállandóváltozásokkal. Más effektus is szóba jöhet, azonban: a galaktikus kozmikus sugárzás ionizálja a troposzféra molekuláit is (LOWDER és BECK, 1966), így azok naptevékenység okozta modulációja nyilvánvalóan lélegelektromos változásokhoz vezethet. Jelenlegi ismereteink — egyébként meglehetősen alacsony — szintjén ezek nemigen okozhatnak jelentősebb időjárási hatásokat, bár legújabbban pl. MARKSON (1978) javasolt egy plauzibilis mechanizmust, melyen keresztül a Nap részecskesugárzásának felső-léggöri abszorpciója indirekt módon hatással lehet a troposzféra elektromos állapotára is. WILLETT (1979) részletesebb vizsgálata rámutatott azonban arra, hogy az effektus jóval szerényebb hatású, mint amit MARKSON kapott.

Folytatva a Maunder-típusú minimumokkal kapcsolatba hozható esetleges klímalehűlések tárgyalását, ki kell emelnünk a következőket:

A legutóbbi 750–1000 évre vonatkozó, a *felszínhőmérséklet* alakulására utaló klímaindexek — mint pl. az oxigén-izotóp és a  $D/H$  arányok —, nem utalnak minden kétséget kizáróan arra, hogy a Nap kevésbé volt aktív (luminozitáscsökkenés szempontjából) mint egy mai, zérus körüli napfoltszámmal jellemezhető minimum idején. HIBLER és JOHNSEN (1979) oxigén-izotóp arányai, vala-

mint a  $D/H$  klímaindikátor (DICKE, 1978, 1979) ugyanis nem mutat olyan viselkedést, mely a naptevékenység szintjének burkológörbéjével párhuzamba állítható. Igaz ugyan, hogy a  $D/H$  index az átlagosnál kisebb változékonyságot mutat a Maunder-minimumnál, azonban a Spörer- (1416–1534) és a Wolf-minimumra (1282–1342) ez a megkülönböztetés sem tehető. Továbbmenve, a  $D/H$  arány mint klímaindikátor *nem-lokális* jellegű, míg pl. EDDY (1976) *lokális* éghajlatindexeket használt fel, amikor a Maunder-minimumnak klímalehülést feleltetett meg. Ráadásul még ezen lokális indexek is azt mutatták, hogy a Maunder-minimummal kapcsolatba hozott lehülés csak egy része volt egy sokkal hosszabb hideg periódusnak, az ún. kis-jégkorszaknak, mely legalább 1590-től 1850-ig tartott (LADURIE, 1971).

Legújabban WIGLEY et al. (1980) behatóan elemezték az északi hemiszféra 4000 évre visszamenő klimatikus trendjeinek és a C-14 izotóp fa-évyűrűkben talált mennyiségének (a megnövekedett értékek alacsony naptevékenységi szintekre utalnak) alakulását. Eredményeik szerint a szekuláris klímalehülések és a naptevékenység burkológörbéjének minimumai között nem valószínű az *oksági* kapcsolat léte. Az utóbbi 500 évre vonatkozóan ROBOCK (1978, 1979) azt találta, hogy a felszínhőmérséklet alakulása egyáltalán nem magyarázható a naptevékenység szintjének ingadozásaival, míg TAYLOR et al. (1980) 80 évre visszamenőleg kaptak hasonló eredményt, ill. a vulkáni tevékenység nagyságrenddel nagyobb szerepét mutatták ki.

Összegezve, a fent idézett eredményeknek, ill. meg gondolásainknak nem mond ellent, hogy a szekuláris klímaingadozások jelentős részéért a Nap — naptevékenységtől lényegében független — luminozításváltozásai lehetnek a felelősek, azonban a kérdés végleges eldöntéséhez a napállandó hosszabb távú — legalább egy HALE cikluson át tartó — *műholdas, nagypontosságú* méréseire van szükség.

Amint kimutattuk csak  $\sim 0,1\%$ -nál kisebb napállandóváltozások lehetnek kapcsolatosak a naptevékenység különböző megnyilvánulási formáival, tehát ha pl. a műholdas mérések kimutatnának  $0,1\%$ -nál nagyobb, *nem véletlenszerű*, megfelelő periódusú luminozításváltozásokat, akkor esetleg DICKE (1978) vagy mások elmélete igazolódhatna.

A kezdeti lépések már meg is történtek: 1978 novembere óta a Nimbus 7 műholdon, 1980 elejétől pedig az SMM (Solar Maximum Mission) mesterséges holdról mérik  $0,1\%$ -nál nagyobb pontossággal a napállandót. Az eddigi — sajnos még rövid — *folyamatos* adatsorból trendet nem lehetett kimutatni, 2 nagyobb, néhány hétig tartó mintegy  $0,3\%$ -os napállandócsökkenést azonban észleltek, s ezek egyike napfoltszám-emelkedéskor következett be (FOUKAL, 1980).

Mindent egybevetve, az utóbbi néhány ezer év szekuláris klímaingadozásainak fő kiváltó oka még mindig kérdéses, s például az óceán—légkör—krioszféra—szárazföld rendszer saját sztochasztikus mechanizmusai ugyanolyan fontos szerepet játszhatnak, mint a külső gerjesztések.

## IRODALOM

- BERGER, A. L.: Long-Term Variations of Daily Insolation and Quaternary Climatic Changes. *J. of the Atm. Sci.*, **35**, 2362—2367, 1978.
- BERGER, A. L.: Insolation Signatures of Quaternary Climatic Changes. *Il Nuovo Cimento*, **2**, C, 63—87, 1979.
- BIRCHFIELD, C. E.: A study of the stability of a model continental ice sheet subject to periodic variations in heat input. *J. Geophys. Res.*, **82**, 4909—4913, 1977.
- BUCHA, V.: Cases of Glaciations Climate and Weather Changes (Possible Mechanism of Solar-Terrestrial Processes). Project 73/1/24, „Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere”, Report, **4**, Prague, 8—36, 1977.
- CALLIS, L. B.—J. E. NEALY: Solar u. v. variability and its effect on stratospheric thermal structure and trace constituents. *Geophys. Res. Lett.*, **5**, 249—252, 1978.
- CALLIS, L. B.—M. NATARAJAN—J. E. NEALY: Ozone and temperature trends associated with the 11-year solar cycle. *Science*, **204**, 1303—1306, 1979.
- COOK, E. R.—G. C. JACOBY: Evidence for quasi-periodic July drought in the Hudson Valley, New York. *Nature*, **282**, 390—392, 1979.
- DEARBORN, S. P.—M. J. NEWMAN: Efficiency of convection and time variation of the solar constant. *Science*, **201**, 150, 1978.
- DESSLER, A. J.: In Possible Relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena. NASA-SP-366 NASA, Washington, 1975.
- DICKE, R. H.: Is there a chronometer hidden deep in the Sun? *Nature*, **276**, 676, 1978.
- DICKE, R. H.: Solar luminosity and the sunspot cycle. *Nature*, **280**, 24—27, 1979.
- EDDY, J. A.: The Maunder minimum. *Science*, **192**, 1189, 1976.
- EDDY, J. A.: The case of the missing sunspots. *Scientific American*, **236**, 80, 1977.
- EPSTEIN, S.—C. J. YAPP: *Earth Planet. Sci. Lett.*, **30**, 252, 1976.
- FOUKAL, P.: Solar luminosity variation on time scales  $10^2$ — $10^9$  seconds; observational evidence and basic mechanisms. Paper presented at „Sun and Climate”, Toulouse, France, September 30—Oktober 3, 1980.
- FRENCH, B. M.: Footprints of the Sun. *Nature*, **283**, 244—245, 1980.
- HAYS, J. D.—J. IMBRIE—N. J. SHACKLETON: Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages. *Science*, **194**, 1121, 1976.
- HEATH, D.: Space observations of the variability of solar irradiance in the near and far ultraviolet. *J. Geophys. Res.*, **78**, 2779—2792, 1973.
- HEATH, D. F.: A review of observational evidence for short and long term ultraviolet flux variability of the Sun. Paper presented at „Sun and Climate”, Toulouse, France, September 30—Oktober 3, 1980.
- HIBLER, W. D.—S. J. JOHNSEN: The 20-yr cycle in Greenland ice core records. *Nature*, **280**, 481—483, 1979.
- HINES, C. O.—I. HALEVY: On the reality and nature of a certain Sunweather correlation. *J. of Atm. Sci.*, **34**, 382—404, 1977.
- HOWARD, R.: The rotation of the Sun. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **16**, 721—732, 1978.
- HOYT, D. V.: Variations in sunspot structure and climate. *Climatic Change*, **2**, 79—92, 1979.
- IZAKOV, N. M.: Comparison of structure and dynamics of the Earth's, Mars' and Venus' thermosphere. *J. Atm. Terr. Phys.*, **38**, 847—862, 1976.
- LADURIE, E. LER.: Times of feast, times of famine; a history of climate since the year 1000. New York, Doubleday and Company, 426, 1971.
- LAMB, H. H.: An approach to the study of the development of climate and its impact on human affairs. Paper presented at International Conference on Climate and History, Norwich, United Kingdom, July 8—14, 1979. Norwich, 91—108, 1979.
- LARSEN, M. F.—C. M. KELLEY: A study of an observed and forecasted meteorological index and its relation to the interplanetary magnetic field. *Geophys. Res. Lett.*, **4**, 337—340, 1977.
- LOWDER, W. M.—H. L. BECK: Cosmic-ray ionization in the lower atmosphere. *J. Geophys. Res.*, **71**, 4661—4668, 1966.
- MARKSON, R.: Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the Sun-weather relationships. *Nature*, **273**, 103—109, 1978.
- MILANKOVITCH, M.: *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitproblem*. R. Serb. Acad., Belgrade, 633, 1941.
- MITCHELL, J. M. JR.—C. STOCKTON—D. M. MEKO: Evidence of a 22 year rhythm of drought in the Western United States related to the Hale solar cycle since the 17th century. Paper presented at Solar-Terrestrial Influences on Weather and Climate, Columbus, Ohio, July 24—28, 1978.
- MONIN, A. S.: *Weather Forecasting as a Problem in Physics*. The MIT Press, 1972.

- PITTOCK, A. B.: A critical look at long-term sun-weather relationships. *Revs. Geophys. Space Physics*, **16**, 400—421, 1978.
- POLLACK, J. B.—W. J. BORUCKI—O. B. TOON: Are solar spectral variations a drive for climatic change? *Nature*, **282**, 600—603, 1979.
- ROBOCK, A.: Internally and Externally Caused Climate Change. *J. of the Atm. Sci.*, **35**, 1111—1122, 1978.
- ROBOCK, A.: The „Little Ice Age”: Northern Hemisphere Average Observations and Model Calculations. *Science*, **206**, 1402—1404, 1979.
- SAKURAI, K.: Equatorial solar rotation and its relation to climatic changes. *Nature*, **269**, 401—402, 1977.
- SCHNEIDER, S. H.—M. W. WASHINGTON—M. R. CHERVIN: Cloudiness as a climatic feedback mechanism: effects on cloud amounts of prescribed global and regional surface temperature changes in the NCAR GCM. *J. Atm. Sci.*, **35**, 2207—2221, 1978.
- SCHNEIDER, S. H.—S. L. THOMPSON: Ice ages and orbital variations: some simple theory and modeling. *Quaternary Res.*, **12**, 188—203, 1979.
- SOFIA, S.—J. O'KEEFE—J. R. LESH—A. S. ENDAI: Solar constant: constraints on possible variations derived from solar diameter measurements. *Science*, **204**, 1306—1308, 1979.
- SUAREZ, M. J.—I. M. HELD: Modeling climatic response to orbital parameter variations. *Nature*, **263**, 46—47, 1976.
- SUAREZ, M. J.—I. M. HELD: The sensitivity of an energy balance climate model to variations in the orbital parameters. *J. Geophys. Res.*, **84**, 4825—4836, 1979.
- TAYLOR, B. L.—T. GAL-CHEN—S. H. SCHNEIDER: Volcanic eruptions and long-term temperature records: an empirical search for cause and effect. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **106**, 175—200, 1980.
- WEERTMAN, J.: Milankovitch solar radiation variations and ice age sheet sizes. *Nature*, **261**, 17—20, 1976.
- WIGLEY, T. M.—L. D. WILLIAMS—P. M. KELLY: Climatic trends at High Northern latitudes during the last 4000 years compared with 14 C fluctuations. Paper presented at „Sun and Climate” Toulouse, France, September 30—October 3, 1980.
- WILCOX, J. M.—H. P. SCHERRER—L. SVALGAARD—W. O. ROBERTS—R. H. OLSON—R. L. JENNE: Influence of solar magnetic sector structure on terrestrial atmospheric vorticity. *J. Atm. Sci.*, **31**, 581—588, 1974.
- WILLETT, C. J.: Solar modulation of the supply current for atmospheric electricity. *J. Geophys. Res.*, **84**, 4999—5002, 1979.
- WÖHL, H.: Gab es Änderungen der Solarkonstanten in historischer Zeit? *Sterne und Weltraum*, **25**—27, 1978.

## ON THE POSSIBLE EFFECT OF SOLAR ACTIVITY ON CLIMATIC CHANGE

GY. MOLNÁR

### Abstract

The possible effect of the recently discovered long-term absence of solar activity (e. g., the Maunder or Spörer minimum) on climatic change is discussed. First, the influence of the presently observed solar cycle on the upper atmosphere is estimated and it is concluded that these changes cannot have even an indirect effect on weather. Since the change of solar radiation in the visible spectrum during a sunspot cycle may induce directly meteorological changes in the troposphere, an estimation of the possible maximal amplitude of these changes is also given. The calculations, together with the indexes expressing non-local type climatic change, show that the external manifestations of solar activity (and consequently also the lack of them) are unable to induce changes in meteorological processes that are of interest from the forecaster's point of view.

Considerations presented in the paper indirectly refer to the possibility that the Milankovits hypothesis might be important in creating at least the quaternary glaciations.

Finally, it is concluded that the variations of the solar constant larger than 0.1 per cent observed by satellites cannot be connected with the presently known forms of solar activity. Larger apparent changes in luminosity may be induced deep inside the Sun, and the sunspot cycle, as it is understood today, is no more than a spectacular but meteorologically insignificant manifestation of this internal mechanism.

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Д. МОЛЬНАР

## Резюме

Рассматривается возможное влияние недавно выявленного длительного отсутствия солнечной активности (напр. минимумы Маундера или Шпэрера) на изменение климата. В связи с этим сначала изучалось влияние наблюдаемого в настоящее время солнечного цикла на верхние слои атмосферы, причем был сделан вывод о том, что такие изменения не могли влиять на погоду даже косвенным путем. Поскольку изменение солнечной постоянной в видимом спектре за цикл солнечных пятен может вызывать метеорологические изменения в тропосфере, оценивалась также возможная максимальная амплитуда этих изменений. Полученные результаты, а также величины индексов, выражающих изменения климата нелокального типа, показывают, что внешние проявления солнечной активности (следовательно и их отсутствие) не могут вызывать изменения метеорологических процессов, которые могли бы иметь значение с точки зрения прогнозов.

Излагаемые соображения косвенно указывают на то, что механизм по гипотезе Миланковича мог сыграть значительную роль в процесс развития четвертичных оледенений.

В заключение делается вывод о том, что изменения солнечной постоянной, превышающие 0,1% и наблюдаемые искусственными спутниками Земли, не могут быть связаны с известными в настоящее время видами солнечной активности. Возможные более значительные изменения яркости вызываются, вероятно, глубоко в недрах Солнца, причем известный в настоящее время цикл солнечных пятен ничто иное, чем постановочное, но с метеорологической точки зрения незначительное проявление этого внутреннего механизма.

