

Új tudomány kialakulóban:

a bolygók összehasonlító légkörtana

## LÉGKÖRÜNK CIRKULÁCIÓI

A földi légkör magasabb rétegeit, fizikai állapotát és mozgását több mint 200 év óta kutatják a meteorológusok, geofizikusok léggömbökkel, majd repülőgépekkel, napjainkban pedig rakétákkal és mesterséges holdakkal. A század 30-as éveiben a meteorológusok utas nélküli műszeres léggömbjei rekordmagasságot, 30–35 km-t értek el. Ugyanekkor bátor kutatók, a belga Piccard, a szovjet Fedoszenko, Vaszenko, Uzsizkin, az amerikai Stevens és Anderson sztratosztátaikkal mélyen behatoltak a sztratoszférába s elérték a 22 km-es csúcsmagasságot. Gagarin űrrepüléséig ez volt az ember által elért legnagyobb magasság. A légkör magasabb rétegeibe 35–40 km fölé a műszeres léggömbök sem jutottak el, a léggömbök anyagát megtámadó, roncsoló hatású ozonoszféra — legalábbis az akkori léggömbtechnika számára — áthatolhatatlannak látszott.

A II. világháború után, különösen a Nemzetközi Geofizikai Évben és ezt követően megkezdődött a földi atmoszféra és a bolygóközi tér kutatása rakétákkal és mesterséges holdakkal. Az elmúlt évtizedben ezen az úton értékes ismereteket szereztünk a földi légkör felső rétegeiről, a Nap felületi és belső jelenségeiről, a bolygókról és ezek légköréről.

A bolygók légkörének a többé-kevésbé ismert anyagi összetételén, hőképzésén kívül legjellemzőbb tulajdonsága a mozgás, az ún. légköri cirkuláció. A Föld légkörének általános cirkulációját részletesebben, a bolygókért kevésbé ismerjük. Bizonyos analógiák felhasználásával azonban a földi cirkuláció tanulmányozása segítségünkre lehet a bolygók légkörének megismerésében is.

Most induló cikksorozatunkban összefoglaljuk a földi légkör magasabb rétegeiről, valamint a bolygóközi térről nyert fontosabb ismereteinket, és ezekből kiindulva — legalább modellszerűen — megkíséreljük a bolygókat burkoló légkör feltételezett mozgásmechanizmusának leírását és összehasonlítását. Olvasóink e sorozat szerzőinek jóvoltából kezükbe kapják — a hazai ismeretterjesztésben először — egy kialakulóban levő új tudományág alapjait. (Szerk.)

A Föld légkörének alapvető és időjárásunk szempontjából döntő jelentőségű tulajdonsága a mozgás. Ha bolygónkat nagy távolságból, például egy távoli űrhajó kabinablakából szemlélnénk, a térítők mentén húzódó felhőtlen sivatagi övekben megfigyelhetnénk az óceánokkal tarkított szilárd Föld nyugat-keleti irányú forgását. Látatnánk azt is, hogy az Egyenlítő környező trópusi öv gazdag felhőzete ugyancsak nyugatról keletre, de a szilárd Földhöz képest lassabban, a mérsékelt övek kiterjedt felhőtakarója pedig ennél gyorsabban forog. Az atmoszféra tehát a földfelszínhez képest a rendszeren belül is mozgást végez. *Ezen mozgások összességét nevezzük az atmoszféra általános cirkulációjának, a vízszintes irányú légmozgásokat pedig szélnek.*

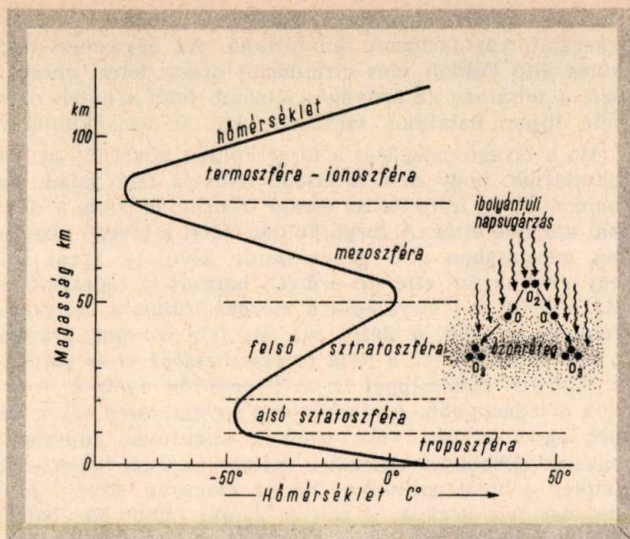
A cirkuláció törvényszerűségeinek kutatása több mint két évezreddel megelőzte az űrhajókat, s a talajon végzett szélmérésekből, a léggömbök, majd a rakéták adataiból fokozatosan kibontakozott az általános cirkuláció bonyolult mechanizmusa. A látszólag rendszertelen légmozgásokban a kutatók egymással többé-kevésbé összefüggő szélrendszereket, ún. áramlási cellákat ismertek

fel, amelyek nemcsak a vízszintesben, hanem a függőlegesben is elkülönülnek egymástól.

A magaslégköri kutatások kimutatták, hogy a légkör egymás fölé rétegződő, nagyjából vízszintes kiterjedésű szférákból áll. Ezeket főként a hőmérsékletnek a szférakon belüli jellegzetességei különböztetik meg egymástól. A legalsó, kb. 10 km magas *troposzférában* (1. ábra) felfelé haladva km-enként 5–7°-kal hidegebb van; hőtartalmát a napsugárzástól felmelegedett talajtól nyeri. A felső határán —50 °C körüli a hőmérséklet. Az alsó sztratoszférában, 10–20 km között felfelé nem sokat változik, a felső sztratoszférában, 20–50 km között felfelé emelkedik a hőmérséklet. Felső határán a hőmérséklet megközelíti a 0 °C-ot. A felmelegedés a 30–50 km között levő ozonrétegnek tulajdonítható, amely elnyeli az ibolyántúli napsugárzás nagy részét. A *mezoszférában*, a meleg ozonréteg fölött felfelé haladva újból a hőmérséklet csökkenését tapasztaljuk; a felső határán, 80 km magasságban van a légkör leghidegebb, —80 °C hőmérsékletű szintje. A *termoszférában* az ibolyántúli napsugárzás ionizáló folyamatai melegítik fel a levegőt.

Az egyes rétegekben jellegzetesen alakulnak a légköri mozgásokat fenntartó erők, s a cirkulációnak különböző típusai alakulnak ki. Vizsgáljuk meg részletesen e típusokat.

Derült égből a Skandináv-félsziget és a Norvég-tenger fölött. A Botteni-öböl tükrét még jégtakaró borítja, a Skandináv-hegységet hó fedi, az Atlanti-óceán és az Északi-tenger fölött kiterjedt, összefüggő felhőréteg van. (Az ESSA-8 mesterséges holdról, kb. 1000 km magasságból közvetített s a pesti I. A. Aerológiai Observatóriumban 1969. március 16-án felvett kép.)



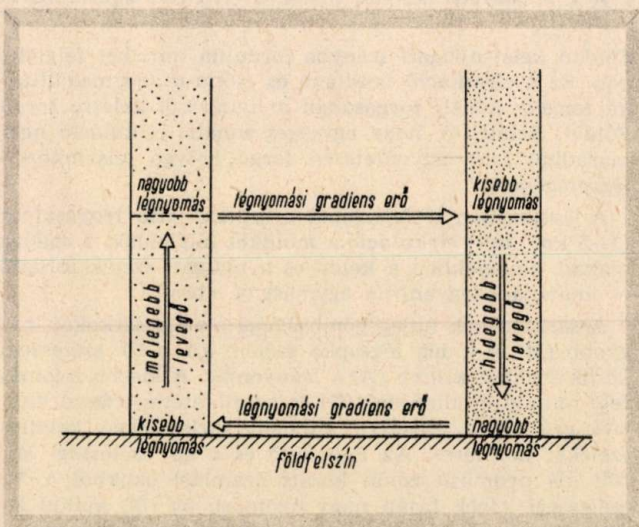
1. ábra. A földi légkör hőmérsékletének változása a magassággal (méréskelt övi átlagértékek)

### A troposzféra cirkulációja

Időrendben először a felszínközeli, kb. 1 km magas légréteg áramlási sajátságait fedezték fel. A megfigyelt széladatokból megállapították a leggyakoribb szélirányokat, a szélsébségek átlagos értékeit és más éghajlati jellemzőket. Ilyenformán felismerhetővé vált egy állandó jellegű cirkuláció, amelyre különböző áramlási zavarok, rendezetlen, turbulens légmozgások rakódnak, s együttesen adják a tényleges cirkulációt.

A felszínközeli cirkulációban évszázadok óta ismertek a trópusi öveknek az Egyenlítő két oldalán kb. a 30° szélességi körökig terjedő keleties szelei: az ún. passzátszelek, a mérsékelt övek nyugati és a sarkvidékeknek kb. a 60° szélességi körökig lenyúló keleties szelei.

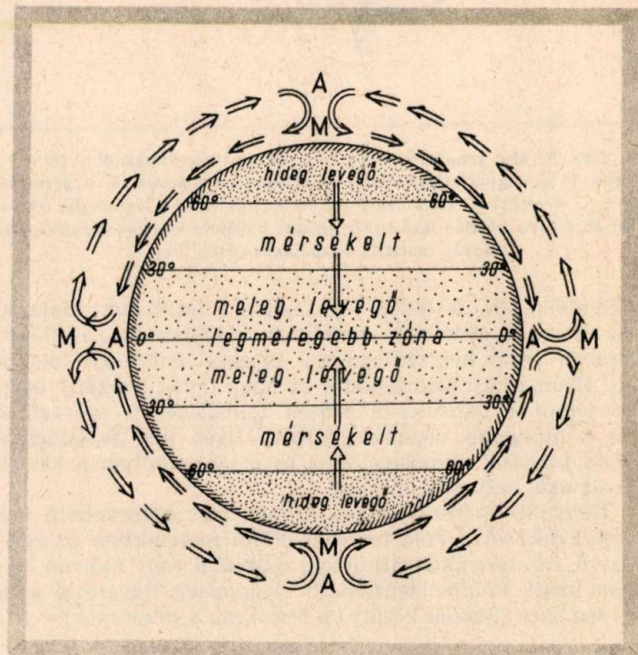
Az első kérdés, amely a szélrendszerekre vonatkozólag Arisztotelész óta foglalkoztatja a kutatókat, a szeleket fenntartó energiaforrásra irányul. A gyorsabban mozgó levegő sűrűdik a lassabban áramlóval, a felszín közelében a levegőhöz képest mozdulatlan Földdel. A sűrűdés hőt fejleszt, s ezt a hőt a légkör és a Föld kisugározza a



2. ábra. Légnyomáskülönbség hideg és meleg légoszlopok alatt a földfelszínen és a légkör magasabb szintjén. A nyíllal jelzett kettős vonal a gradienserő és egyben a légmozgás irányát mutatja. A gradienserőt követő zárt cirkuláció csak kis térségben fejlődik ki

bolygóközi térbe. Ilyen módon a sűrűdés felemésztené a rendelkezésre álló energiakészletet, s ha ez más úton nem pótlódnék, előbb-utóbb megszűnne a légkör mozgása. Arisztotelésznek azt a feltevését, hogy a szélrendszerek energiaszükségletét a napsütés folyamatosan biztosítja azzal, hogy a Föld felszínét különbözőképpen melegíti fel, ma is elfogadjuk.

A legnagyobb hőmérséklet-különbség a trópusok és a sarkvidékek között alakul ki azáltal, hogy a Nap sugarai az Egyenlítőt meredek, a sarkvidékeket pedig lapos szög alatt éri. A szélrendszerek mérséklék az éghajlati övek hőmérsékleti ellentéteit, és ezzel maguk szabályozzák energiaforrásukat. Ugyanis a trópusok felmelegedett légtömegeit a szél a napsütésben szegényebb, hideg zónák felé szállítja, a sarkvidékek hideg levegője pedig heves szélviharok kíséretében helyet cserél a melegebb zónák levegőjével. Az Egyenlítőn évi átlagban kb. 7 C°-kal melegebb, az Északi-sarkon pedig kerekén 12 C°-kal hide-



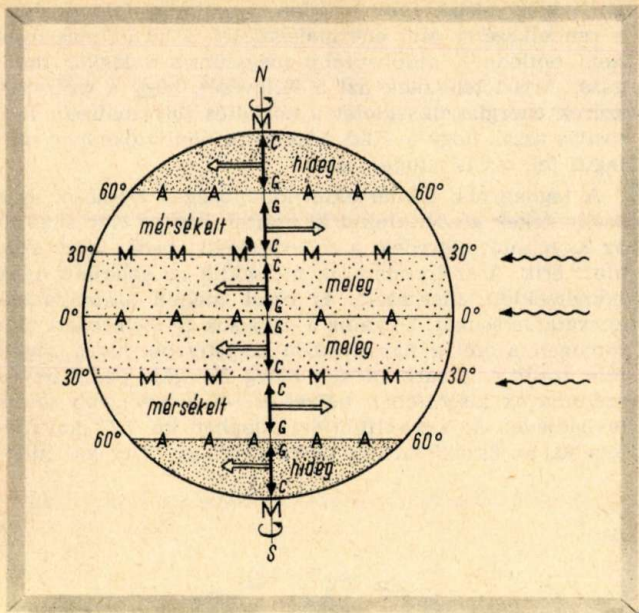
3. ábra. Zárt cirkuláció álló Földön meleg, mérsékelt és hideg zónák tartós fennmaradása esetén. A=kisebb, M=nagyobb légnyomás ugyanazon tengerszint fölötti magasságban. A nyíllal jelzett kettős vonalak a levegő feltételezett mozgását mutatják

gebb lenne, ha valaminő módon meg tudnánk állítani a légkör mozgását.

A második kérdés: hogyan lesz a felszíni hőmérséklet-különbségből mozgási energia és mozgás? Ismeretes, hogy a hidegebb légoszlop sűrűbb és nehezebb, mint a melegebb és ritkább levegő, tehát a földfelszínen meleg levegőtömeg alatt kisebb, hideg alatt pedig nagyobb a levegő súlya, a légnyomás (2. ábra). Emiatt a felszín közelében a levegőre ható mozgató erő, ún. légnyomási gradienserő lép fel, amely a nagyobb nyomású hely felől a kisebb nyomású hely felé irányul.

Bizonyos magasságban a gradienserő megfordul és a meleg légoszlop felől a hidegebb felé mutat. A magyarázat egyszerű: magasabb szinten annyival kisebb a légnyomás, mint a Föld felszínén, amennyi a két szint közötti levegő súlya. Ez pedig a hideg légoszlopban nagyobb, a meleg, ritkább levegőben kisebb. Azaz meleg légtömegben elég magas szint fölött nagyobb a légnyomás, mint hideg levegőben ugyanolyan magasságban.

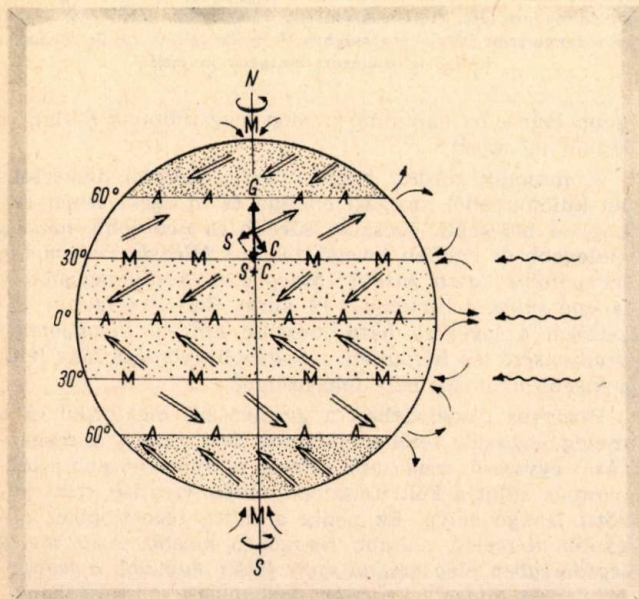
Ha a gradienserők irányában elmozduló levegő a meleg légoszlopban — környezeténél könnyebb lévén —



4. ábra. Az alsó troposzféra (1–3 km között) légnyomási övei (A = kisebb, M = nagyobb légnyomás) és átlagos cirkulációja. G = gradienserő, C = eltérítő erő, a nyíllal jelzett kettős vonal a légmozgás iránya. Az ábra jobb oldalán levő nyíllal jelzett hullámos vonalak a napsugarak irányát mutatják (napéjegyenlőség idején)

felemelkedik, a hideg légoszlopban lesüllyed, kialakul az ún. zárt cirkuláció, amelyben a hőmérséklet-különbségben rejlő helyzeti energia mozgási energiává alakul át. Ilyen cirkuláció fejlődik ki nagy tavak keskeny parti sávjában a napsütéstől erősen felmelegedett szárazföld és a hidegebb vízfelszín között. Ilyen kis térségben a Föld forgása elhanyagolható, és a szél valóban a kisebb nyomású hely felé irányul.

Nagyobb méretű légmozgásokra már észrevehető hatást gyakorol a Föld forgása. Földi méretekben az egyszerű, ún. termikus cirkuláció csak álló vagy nagyon lassan forgó Földön képzelhető el a meleg Egyenlítő és a hideg sarkvidékek között (3. ábra), ha a hőmérséklet jel-

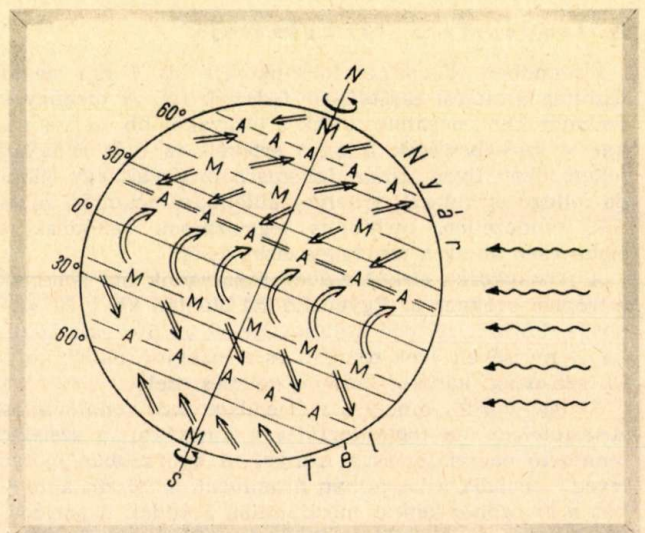


5. ábra. A talajközeli ún. súrlódási réteg (1 km alatt) cirkulációja (S = súrlódási erő)

legzetes zonális eloszlását valamilyen külső vagy belső energiaforrás tartósan fenntartaná. Az egyirányú napsütés álló Földön más cirkulációt hozna létre: ebben a szél a felszínen az árnyékos félgömb felől a napos oldal felé fújna, hatalmas szélviharokkal az árnyékhatáron.

Ha a levegő mozgását a forgó Földön követjük, azt tapasztaljuk, hogy nem a kisebb nyomás felé halad, hanem ettől az iránytól az északi félgömbön jobbra, a délin balra kézzel eltér. A forgó Földön tehát a levegő vízszintes mozgásában a G gradienserőn kívül (4. ábra) még egy erő, az ún. eltérítő erő (C) hatását is tapasztaljuk. Az eltérítő erő merőleges a mozgás irányára, az északi félgömbön jobbra, a délin balra kézzel irányul, arányos a szél sebességével, a Föld forgássebességével és változik a földrajzi szélességgel is: az Egyenlítőn nulla, a sarkokon a legnagyobb. Amikor a szél egyenesen fúj, a két erő egyensúlyban van: irányuk ellentétes, nagyságuk egyenlő. Ebből következik a meteorológusok balkéz-, illetőleg jobbkez-szabálya: ha az alacsony, azaz kisebb nyomás felé nézünk, a szél az északi félgömbön balról, a délin jobbról fúj.

Az álló Földön elképzelt egyszerű cirkuláció (az északi félgömb felszínén északi, a délin déli szelek) a forgó



6. ábra. A talajközeli légréteg cirkulációja az északi félgömb nyarán

Földön kelet-nyugati irányba fordulna mindkét félgömbön. Ez a cirkuláció lassítaná és előbb-utóbb megállítaná tengely körüli forgásában a nyugatról keletre forgó Földet. Belátható, hogy egységes zonális cirkuláció nem maradhat fenn egyenesen forgó bolygó felszínközeli légrétegében.

A valóságban a felszínnel érintkező alsó troposzféra (3–5 km alatt) cirkulációja mindkét félgömbön 3 cellára szakad, amelyekben a keleti és a nyugati szelek forgató nyomatókai kiegyenlítik egymást (4. ábra).

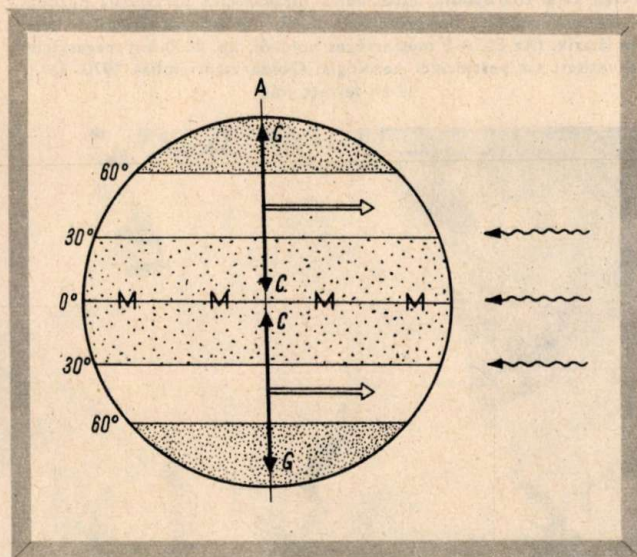
A sarkvidékek hideg gömbsüvege alatt a sarkokon nagyobb (M), a hideg légsapka szélén, kb. a 60° szélességi körök mentén kisebb (A) a légnyomás. A kisebb nyomás felé mutató gradienserő (G) és az ellentétes irányú eltérítő erő (C) egyensúlya mindkét sarkvidéken keleties szeleket hoz létre. Az Egyenlítő és a 60° szélességi körök kis nyomású zónái között áramlási okokból a 30° szélességi körök táján nagy nyomású öv (M) alakul ki. Az eddigiek alapján (bal-, ill. jobbkez-szabály) megmagyarázhatjuk a mérsékelt övekben megfigyelt nyugati és a trópusokon tapasztalt keleti szeleket.

A felszínnel közvetlenül érintkező légrétegben a levegő mozgását egy harmadik erő, a súrlódás is befolyásol-

ja. Az áramlásra gyakorolt hatása általában 1 km magasságban már észlelhető, a talaj felé közeledve egyre inkább érvényesül. A sűrűlódás a szabad légköri szél sebességét csökkenti, irányát pedig az északi félgömbön bal, a délin jobb kéz felé, mindig a kisebb légnyomás felé fordítja. Így fordulnak át a felszín közelében a trópusok és a sarkvidékek keleti szelei az északi félgömbön északkeleti, a délin délkeleti szelekké, a mérsékelt övek nyugati szelei pedig délnyugati, ill. északnyugati szelekké (5. ábra).

A sűrűlódás következtében az Egyenlítő, valamint a 60° szélességi körök mentén összeáramlik (konvergál) és a magasabb rétegek felé távozik, a sarkokon és a 30° szélességi körök térségében pedig szétáramlik (divergál) és a magasból pótlódik a levegő. Az újabb vizsgálatok szerint ezek a függőleges áramlások nem kapcsolódnak össze zárt cirkulációvá a vízszintesen fújó szelekkel, amint azt régebben feltételezték. A levegő pótlását, ill. eltávozását a cirkuláció turbulens elemei, a ciklonok és anticiklonok nagy légörvényei biztosítják.

A felszín közelében ható három erőt az 5. ábra mérsékelt övet ábrázoló sávjában külön is felrajzoltuk. Egyenletesen fújó szél esetében a gradienserővel az eltérítő erő



7. ábra. A felső troposzféra (5–10 km között) cirkulációja

és a sűrűlódási erő együttesen tart egyensúlyt. Megfigyelhetjük a felrajzolt erődiagramon, hogy az eltérítő erő a zonális (keleti és nyugati) irány felé fordítaná a szelet, ha a sűrűlódási erő ebben nem akadályozná. Amennyiben az eltérítő erő nagy a sűrűlódáshoz képest, és a nyomási övek helyzete nem változnék, a talaj közelében is zonális lenne az áramlás.

A földtörténeti korok kutatóit nyilván foglalkoztatja az a kérdés, hogy a Föld forgássebességének változása milyen hatást gyakorolhat a légkör cirkulációjára. Lassabban forgó Földön kisebb lenne az eltérítő erő, és jobban érvényesülne a sűrűlódás. A szelek az elmondottak értelmében a gradienserő irányába fordulnának, és nem annyira zonális, inkább meridiionális (délkör menti) irányban mozogna a levegő. Ilyen típusú cirkulációt figyelhetünk meg az Egyenlítő mentén, ahol az eltérítő erő elhanyagolható a sűrűlódáshoz képest. Itt nem alakulhat ki a talaj közelében tartós légnyomáskülönbség, mert a szél egyenesen és nagy sebességgel a kis légnyomású terület magja felé fúj s a légnyomáskülönbséget gyorsan kiegyenlíti. A gyorsabb forgású Föld cirkulációs analógiáját a magasabb szélességek tengerei fölött találjuk meg. Itt az eltérítő erő nagy a tengerfelszíni aránylag

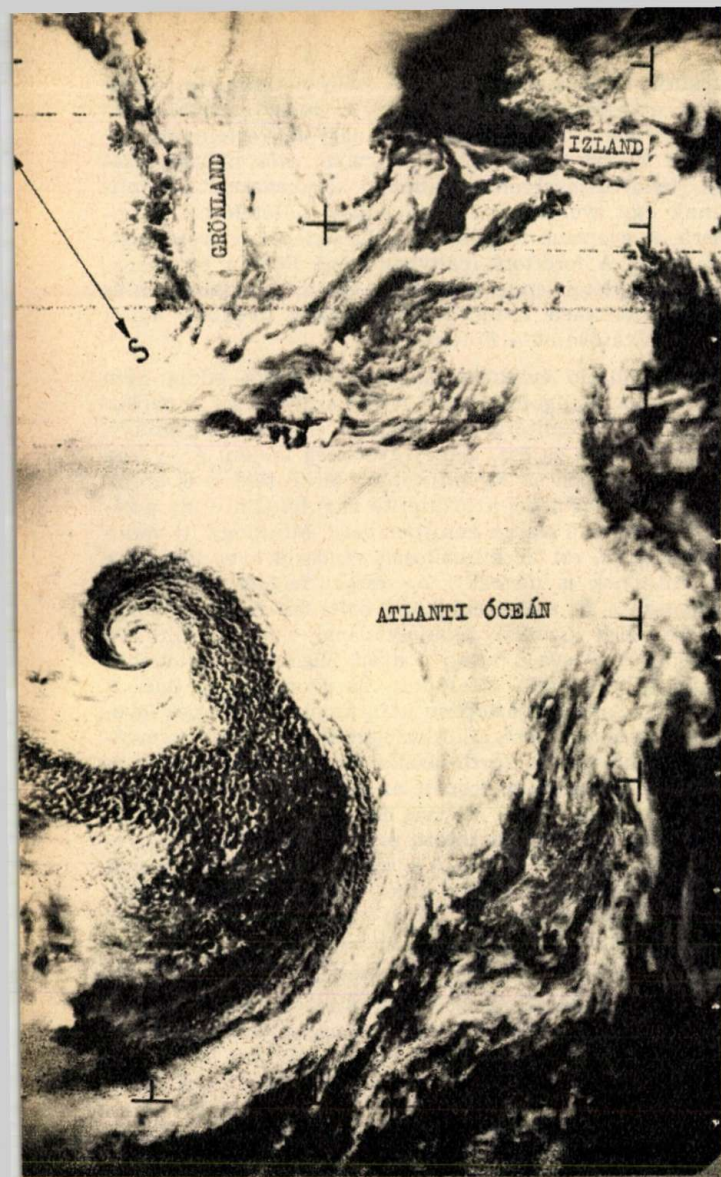
kicsiny sűrűlódással szemben. A szélirány csaknem merőleges a gradienserő irányára, s a szelek inkább zonálisan fújnak. Pl. a déli félgömb nagy tengerfelületei fölött a 40–50° szélességi körök táján erős nyugati szelek, tengerésznyelven az „*üvöltő negyenesek*” hasonlítanak egy gyorsabban forgó Földön feltételezett áramlásra. A gyorsabb forgás a zonális szeleket is erősebbekké tenné. A fordított irányban forgó Földön természetesen ellentétes lenne az eltérítő erő is. A trópusokon és a sarkvidékeken nyugati, a mérsékelt övekben keleti áramgyűrű övezné a Földet.

A cirkuláció évszakos jellegzetességeiről eddig nem beszéltünk. Hallgatólagosan feltételeztük, hogy a napsugarak az Egyenlítőre merőlegesen érkeznek ugyanúgy, mint a tavaszi és őszi napéjegyenlőség idején. A nyárba hajló félgömbön az Egyenlítő felé a térítő felé (a 6. ábrán az északi félgömbön a Ráktérítő felé) tolódik el az a zóna, amelyben a Nap a zenitben delel. Minthogy itt van a legmelegebb, ezt az évszakosan vándorló övet termikus Egyenlítőnek is nevezik. Az északi félgömbön nyáron átlagosan a 20° szélességi körig hatol fel. A téli félgömb passzátiszelei ilyenkor akadálytalanul elérik a földrajzi Egyenlítőt, a levegő átlép a nyári félgömbre és továbbhalad a térítő felé eltolódott kis nyomású öv felé. A földrajzi Egyenlítő átlépése után azonban a mozgó levegőre ható eltérítő erő ellenkezőjére fordul, és pl. az északi félgömb nyárba fordulásakor (6. ábra) a földrajzi és a termikus Egyenlítő között az északkeleti passzátiszeleket délnyugati szelek váltják fel. (Az erősen felmelegedett nagy kontinensek fölött, pl. Dél-Ázsiában a kis nyomású öv mélyen benyomul a szárazföld belsejébe, s mögötte megjelennek az Egyenlítő felől fújó délnyugati szelek: az indiai félszigetek nyári monszunjai. Ezekről egy későbbi cikkben bővebben lesz szó.)

A cirkuláció leírt évszakos változása végeredményben a Föld forgástengelyének az ekliptikával, a napsugarak irányával bezárt szögével, a földtengely hajlásával függ össze. Tanulmányozása később segítségünkre lesz a különböző tengelyhajlású bolygók szélrendszereinek felismerésében.

A felső troposzféra (5–10 km között) cirkulációja az eddigieknél jóval egyszerűbb (7. ábra). A meleg trópusi légtömegek fölött a már elmondott okok miatt (lásd 2. ábra) nagyobb, a sarkok hideg levegője fölött kisebb a légnyomás. Sűrűlódás híján csak a gradienserő és az eltérítő erő érvényesül. Ennek megfelelően mindkét félgömbön nyugat felől (a kisebb nyomás felé nézve az északi félgömbön balról, a délin jobbról) fúj a szél.

Kérdés, hogy a troposzférának a közepes szélviszonyokat tükröző cirkulációjával kicserélődhetnek-e az alacsonyabb szélességek meleg és a magasabb szélességek hideg légtömegei. Nyilvánvalóan nem, hiszen a mérsékelt övek nyugati szelei nem annyira kicserélik, inkább elválasztják egymástól a különbözőképpen temperált levegőfajtákat. Ennek az a következménye, hogy a nyugati áramlás Egyenlítő felőli oldalán egyre melegebb, a sarki térségben egyre hidegebb légtömegek halmozódnak fel. Ezek egymás felé terjeszkednek s a nyugati áramlás a mérsékelt övben egyre szűkebb térre szorítják. Végül is az egyre gyorsuló áramlás egyensúlya megbomlik, az áramlásban hullámok, örvények keletkeznek. Az örvényekben felszabaduló kinetikai energia az egymás mellé került könnyű meleg és nehéz hideg légtömegek helyzeti energiájából származik. A felhalmozódott meleg és hideg légtömegek függőleges és vízszintes menti kicserélődése lényegében a mérsékelt égöv ilyen módon keletkező nagy légörvényeiben, az időjárási ciklonokban megy végbe, amelyekben a levegő befelé tartó örvénylő mozgását jól mutatják az 500–1000 km magasságban keringő mesterséges holdak felhőfelvételei (8. ábra).



8/a ábra. Mérsékelt övi ciklon felhőrendszere az Észak-Atlanti-óceán középső térsége fölött. A csigavonalhoz hasonló felhőrendszert az óramutató járásával ellentétes s a ciklon belseje felé tartó áramlás alakította ki. A kép alsó részén a sötét tónusú Földközi-tenger felületén, Olasz- és Görögország között a Nap képe tükröződik, ettől délre Észak-Afrika partvonala húzódik. A kép felső részén a befagyott Boteni-öböl és a havas Skandináv-hegység látszik. (Az ESSA-8 mesterséges holdról, kb. 1000 km magasságból, közvetített s a pestlőrinci Aerológiai Observatóriumban 1969. július 1-én felvett kép)

### A sztratoszféra és a mezoszféra cirkulációja

Az alsó sztratoszféra (10–20 km között) cirkulációja lényegében hasonló a felső troposzféra cirkulációjához. A sarkvidékek kisebb és az Egyenlítőt környező nagyobb légnyomáshoz nyugati szelek tartoznak, a téli félgömbön nagyobb, a nyárin kisebb sebességgel. A felső sztratoszférában, 20 km fölött és a mezoszférában (50–80 km között) azonban egészen más típusú cirkulációt találunk, amely a légkör kémiai összetételére, egy jellegzetes magaslégköri gáznak, az *ózon*nak jelenlétére vezethető vissza.

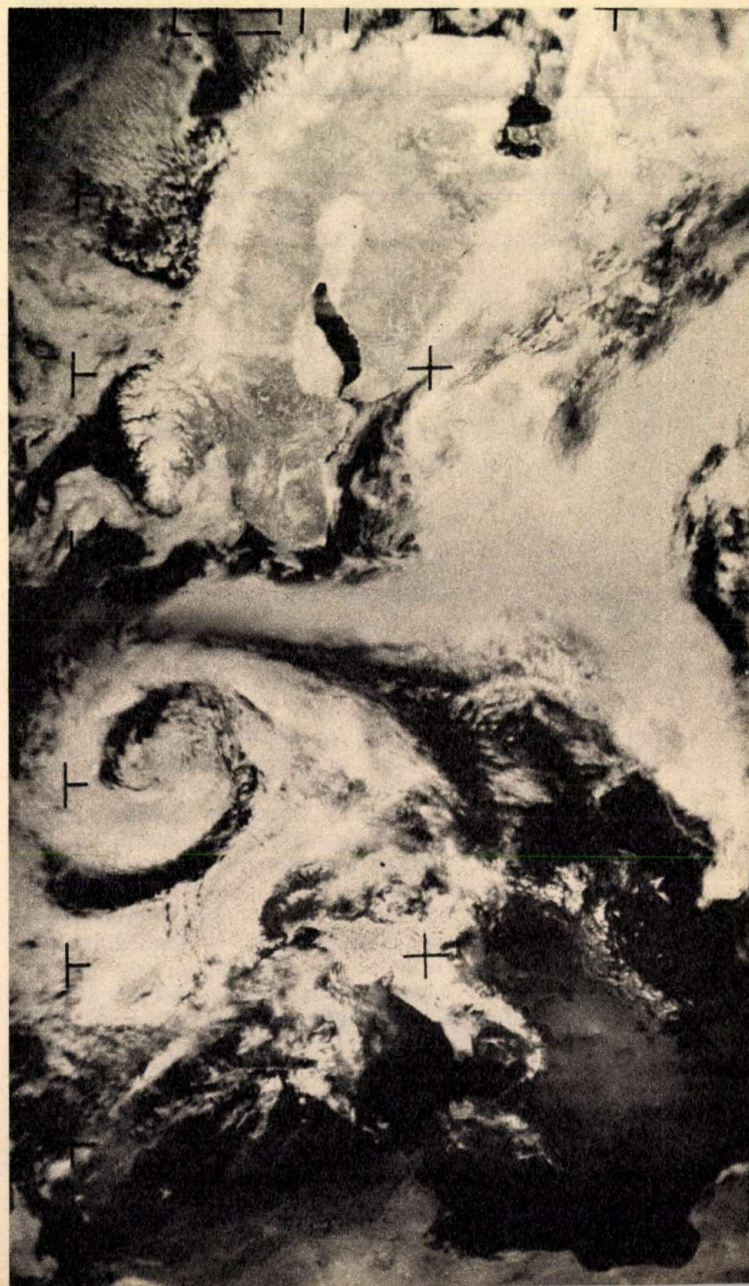
Láttuk, hogy az alsóbb légrétegek cirkulációja mozgató energiáját a földfelszín különböző felmelegedéséből nyeri. Pontosabban az a sugárzási energia alakul át — legalábbis részben — mozgási energiává, amelyet a földfelszín különböző mértékben elnyel, abszorbeál. Az alsó légkör a napsugárzást csaknem gyengítetlenül átengedi és csak elenyésző hányadát nyeli el. A sugárzási energia

átalakulása hővé, majd mozgási energiává lényegében a talajfelszín közvetítésével megy végbe.

A gyengítetlen napfényben a légkör külső határán azonban vannak olyan rövidhullámú sugarak is, amelyek a felső légkörben különböző ionizációs és fotokémiai átalakulásokat okoznak. Közben energiájuk hővé alakul, és a troposzférát már el sem éri. Ezeket tehát nem a talajfelszín, hanem a magas légkör gázai nyelik el.

Az említett rövidhullámú, ibolyántúli napsugarak egy része 20–50 km között atomjaira bontja szét (disszociálja) az ott található kétatomos oxigénmolekulák ( $O_2$ ) egy részét. Az oxigénatomok (O) csatlakoznak fel nem bomlott oxigénmolekulákhoz, és létrejön a háromatomos ózonmolekula ( $O_3$ ). Ilyen módon a nappali órákban kiterjedt ózonréteg jelenik meg a magaslégkörben (lásd 1. ábra). Éjjel, napsütés híján az ellentétes folyamat, az ózon visszaalakulása, rekombinációja csökkenti a magaslégköri ózon mennyiségét. Az ózonréteg elnyeli az ibo-

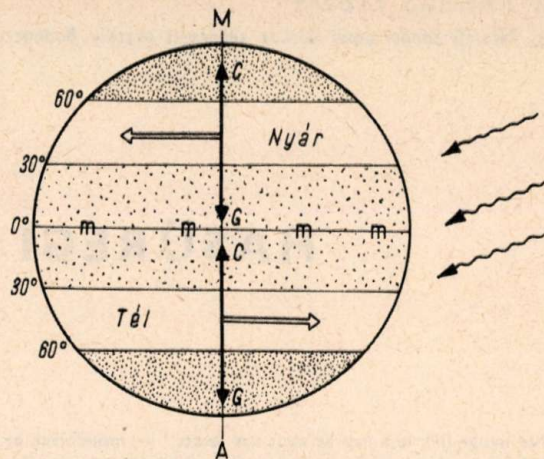
8/b ábra. Mérsékelt övi ciklon felhőrendszere Délnyugat-Európa fölött. A csigavonalhoz hasonló felhőrendszert az óramutató járásával ellentétes s a ciklon belseje felé tartó áramlás alakította ki. A kép alsó részén a sötét tónusú Földközi-tenger felületén, Olasz- és Görögország között a Nap képe tükröződik, ettől délre Észak-Afrika partvonala húzódik. A kép felső részén a befagyott Boteni-öböl és a havas Skandináv-hegység látszik. (Az ESSA-8 mesterséges holdról, kb. 1000 km magasságból, közvetített s a pestlőrinci Aerológiai Observatóriumban 1970. április 13-án felvett kép)



lyántúli napsugárzás jelentős részét és olyan nagy mértékben felmelegszik, hogy a sztratoszféra felső határán 0 °C körül van, sőt gyakran pozitív hőmérsékletű a levegő.

A talajfelszín hatása itt már nem érvényesül a cirkulációban, az ugyancsak napsugárelnyelő felszín, helyesebben réteg, a magaslégi ózon (régebben ozonoszférának is hívták) veszi át ezt a szerepet. Az ózonréteg földi méreteken nem úgy melegszik fel, mint a talajfelszín. Felmelegedésében a földrajzi szélességgel és az évszakokkal változó nappalok hossza (az ózonképződés időszaka) jóval hatásosabb tényező, mint a talaj esetében. A sarkvidékek hosszú nyári nappalain a hó- és a jégmezők a bőséges napsütés ellenére is hidegebbek, mint az alacsonyabb szélességek talaja. Az ózonréteg azonban a tapasztalat szerint a nyári félgömb sarkvidékén melegebb, mint a rövidebb nappalú egyenlítői zónában. A téli félgömbön viszont a sarkvidék fölötti ózonréteg a lehidegebb. A légrétegek hőmérséklete és a bennük kialakult nyomás már ismert kapcsolatával magyarázható, hogy a felső sztratoszférában és a mezoszférában a nyári félgömb sarkvidéke fölött nagyobb, az Egyenlítőn kisebb, a téli félgömb sarkvidékén pedig a legkisebb a légnyomás (9. ábra). A gradienserő és az elterítő erő hatása alatt a nyári félgömbön keleti, a télin nyugati 20 km fölött a szélirány. A cirkuláció átváltása a téli nyugati szelektől a nyári keleti áramlásba tavasszal, a fordított folyamat összesen 1–2 hét alatt következik be. Itt lényegében két évszak van, amelyeket elsősorban a légáramlás iránya különböztet meg egymástól.

A mezoszféra fölött már nagyon ritka a levegő. A légkör teljes tömegének alig 4 század részét tartalmazzák a 80 km fölötti légrétegek. Ennek ellenére az itt lejtőző jelenségek mégsem különböznek a mélyebben fekvő, sokkal sűrűbb légkör időjárása szempontjából. A



9. ábra. A felső sztratoszféra és a mezoszféra cirkulációja (20 km fölött) az északi félgömb nyarán (M = nagyobb, m = közepes, A = kisebb légnyomás)

termoszférában vagy ionoszférában közvetlenül, áttételek nélkül érvényesülnek a kozmikus, elsősorban a nappalévekességéből eredő külső hatások. Ezek az alsóbb légrétegek cirkulációjában mint hirtelen fellépő zavarok, háborgások jelentkeznek s a cirkulációt, ezzel együtt az időjárást váratlanul, ma még kellőképpen nem ismert módon átalakíthatják.

A 80 km fölötti légrétegek geofizikai folyamataival új tudományág: az *aeronómia* foglalkozik.

**HÁRDI ISTVÁN: Lelkiélet, lelkibajok.** (Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1970.)

Hálás terület az egészségügyi ismeretterjesztés (jobb kifejezés ez, mint a lelkisnyiló hangulatot árasztó felvilágosítás), hiszen kit ne érdekelt a testével kapcsolatos tudomány. De fontos is, hiszen a megfelelő egészségügyi ismeretterjesztés nagymértékben hozzájárul a betegségek megelőzéséhez és a gyógyítás sikeréhez. Ezért is örülnünk kell, ha egy ismeretterjesztő könyv több kiadást megér. Bár nem ismerünk statisztikai adatokat erről, mégis joggal feltételezhető, hogy egy ismeretterjesztő könyvnek hat kiadása már rekordnak számít. Ezt a könyvet pedig most a hatodik kiadása alkalmával üdvözölhetjük.

Különbözik a szokásos egészségügyi könyvektől, mégpedig elsősorban témájában. Míg azok a test működésére, bajaira vonatkoznak, ez új hurokat enged: a lelkiélet „működéséről”, bajairól szól. És talán — jó megírása mellett — ez is oka sikerének. Célkitűzése — az ismeretterjesztésen kívül — a lelkiegészségvédelem, a mentálhigiéné szolgálata, és emellett sokat tesz a babonák, téves hiedelmek leküzdéséért is.

A könyv 18 fejezetből áll. Ezek témái érdekesek és hasznosak. Csak néhány „címszó” mutatóba: az ideggyógyászat jelentősége, a tudat élettana, a tudattalan, a tanulás, emlékezet, fejelet, a figyelem, az érdeklődés, a gondolkodás, a képzelet, az érzelme (szeretet, gyűlölet, hangulat, depresszió és mánia, indulatok), a szerelem, a személyiség, a pszichopátia, a szorongás, félelem, lámpaláz, a hipochondria, az alvás-álmom, az idegesség, az elmebetegségek, az értelmi fogyatékosok, a hasznos és káros szenvedélyek (altatók, alkohol), az öregedés, a betegség, a hipnózis, szuggesztió, autogén tréning, a lélekelemzés, viselkedésterápia, a családterápia, az elektroencefalográfia, a pszichotróp szerek, hallucinogén anyagok, a kedélygyógyszerek, a munkaterápia, a művészet-pszichopatológia, a lelki egészség, az em-

beri kapcsolatok, a család, az iskola, a munkahely, a házasság, a szabad idő stb.

E mintaként bemutatott címszavak is feltehetően bizonyítják és demonstrálják a könyv hatalmas anyagát. Olyan témák ezek, amelyek minden ember számára érdekesek, és mindennapiságuk miatt fontosak.

Csak a dicséret hangján szólhatunk a könyv megírás módjáról, az anyag feldolgozásáról. Világos a fogalmazás, színvonala olyan, hogy jól érthető, de mégsem szájbarágós. Olvosható, mégis tudományos.

Mindenkinek — szakmától függetlenül — jó szívvel ajánlhatjuk a könyvet. Érdekesége mellett hasznos funkciót tölt be: önmagunk és embertársaink magatartásának, megnyilvánulásainak megismertetésével sokat javíthat idegeink állapotán.

**F. L. BOSCHKE: Hat nap alatt?** (Táncsics Könyvkiadó, Budapest, 1969.)

A népszerűsítő könyvírásnak talán legnagyobb problémája a szakszerűséget összeegyeztetni az érthetőséggel, még hozzá úgy, hogy az laikus számára is olvasható, érdekesítő legyen. Boschke könyve ennek iskolapéldája. A könyv a tudomány rendkívül széles spektrumát tárgyalja: a csillagászatól az atomfizikáig, a régészettől a geológiáig, a biológiától a kémiai és úrkutatásig minden előfordul benne, hiszen a föld és élet fejlődéstörténetét ismerteti a legújabb tudományos kutatások fényében, s ez önmagában is rendkívüli feladatokat ró a szerzőre. Mindezt azonban nem izoláltan vizsgálja, hanem a világmindenség, az univerzum keretén belül, s így az önmagában leképezhető kép teljessé, kerek egészé, lezárt körré válik.

A könyv négy nagy fejezetre oszlik. Az első a geológiai kormeghatározás régi és modern módszereinek bemutatása mellett tárgyalja a Föld korát, majd azon hatások egy részével foglalkozik, amelyek a

Földet a világegyetem felől érik, elsősorban a meteorokkal, a meteor okozta földi óriás kráterekkel és a kozmikus porokkal.

A második fejezet az univerzum ismeretése. Természetesen a Naprendszer leírásával kezdi, de a Naprendszer kialakulásán keresztül mindjárt a világegyetem felépítéséhez és folyamataihoz kapcsolódik. A problémák itt egyre általánosabbakká válnak, s az antianyagon keresztül Heisenberg világképletének felírásáig jut el a szerző.

A harmadik fejezet a Föld felszínének történetét és törvényszerűségeit tárgyalja, ám ezt sem elszigetelten, az olvasó hamarosan a Hold, majd a Venus és a Mars felszíni problémáival találja magát szemben, sőt a Jupiter sem marad ki a sorból.

Az élet keletkezésével a negyedik, utolsó fejezet foglalkozik, s az író itt is rendkívüli tájékozottságot árul el, mindenütt a legújabb kísérleti eredményeket mutatja be.

Természetesen egy könyv megírása és megjelenése között is nagy idő telik el, s ezt az időt még növeli az eredeti német megjelenés után a fordítás és magyar nyelvű megjelentetés átfutási ideje. Így a könyv megírása óta számos új adat van már birtokunkban, hogy csak egy példát említsünk, a holdközetek közvetlen vizsgálata. A szerző kiemelkedő áttekinthetőségét mutatja, hogy a hét-nyolc évvel ezelőtti történet megírása óta sem avult el a könyv. Az viszont a kiadót dicséri, hogy az újabb adatokat lábjegyzetekkel igyekszik pótolni.

A könyv német nyelven 13 kiadást ért meg, s ez önmagában is rendkívül jó kritika. Tudományos megbízhatósága, széles ismeretanyag mellett mint ismeretterjesztő könyvnek talán legfőbb érdeme az a sok érdekes apró tudománytörténeli csemege, amellyel a szerző művét fűszerezi.

Boschke könyvének magyar nyelvű kiadása a Táncsics Könyvkiadó ismeretterjesztői telitalálata volt.