

Halojelenségek kialakulása, jellemzése és megfigyelése a Földön, és a Földön kívül

I. rész

Sokan szinte csak a felhőket, vagy a szivárványt veszik észre az égbolton. Pedig sok más, ritkábban látott jelenségre is érdemes odafigyelni. Jelen cikk – mely a XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Meteorológia II. tagozatában első díjat nyert dolgozatom rövidített változata (Farkas 2009) – a halojelenségeket hivatott bemutatni. Ezek a jelenségek – melyek a légköroptika csak egy ágát képviselik – a fény fizikai tulajdonságain alapulnak. Akkor alakulnak ki, ha a magasszintű felhőkben lévő, vagy a földhöz közel lebegő jégkristályokról visszaverődik, vagy azokban megtörik a fény.

A halojelenségek rendkívül sokfélék, hiszen a fény útja a kialakulásukban részt vevő jégkristályok jellemzőinek függvényében minden esetben különböző. A kialakult jégkristályok formája a keletkezés helyi adottságainak függvényében eltérő, de közös vonásuk, hogy hexagonális szimmetriát mutatnak. -4°C -nál magasabb hőmérsékleten vízszintes, -4 és -9°C között függőleges irányba mutató növekedés jellemző rájuk. Előbbi esetben hatszög alapú lap, utóbbi esetben hatszög alapú hasáb kristályok keletkeznek. -9 és -22°C között újra lapos, majd -22°C -nál alacsonyabb hőmérsékleten ismét hasáb kristályok képződnek. -22°C alatt az oszlopok alsó és/vagy felső részére piramis formájú csúcsok is nőhetnek – ezt az alakot a továbbiakban gúla alakú kristályként említem (Geresdi 2004).

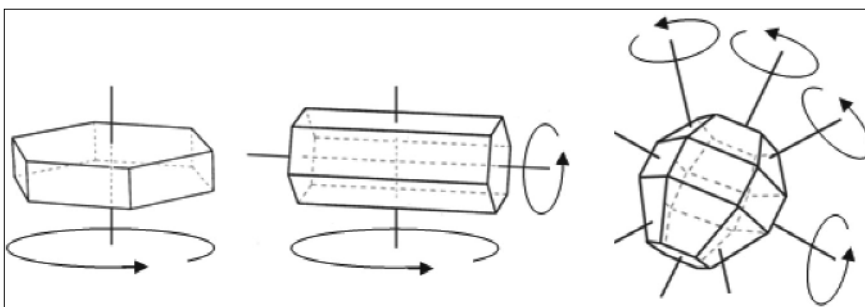
A különböző jégkristályformák, és azok eltérő orientációja más-más halojelenség kialakulását eredményezik; állásuktól függ, hogy melyik lapon jut be, s aztán törik meg a fény (1. ábra). A lapkristályok egyensúlyi helyzetben a horizonttal közel párhuzamosan lebegnek. Elfordulhatnak függőleges tengelyük körül, illetve kis mértékben billeghetnek. Az oszlopkristályok már többféle térbeli helyzetet felvehetnek, hiszen függőleges és vízszintes tengelyük körül egyaránt elfordulhatnak. Jellemző azonban, hogy vízszintes tengelyük a horizonttal közel párhuzamos. A gúlakristályok szinte bármilyen állást felvehetnek. A lehetséges orientációk miatt a rajtuk áthaladó fény útja is sokféle lehet, így ez

a kristály a halók egy különleges csoportjának kialakításáért felelős (Cowley 1998-2009, Goda 2008).

Jégkristályok leggyakrabban a 8–10 km magasan elhelyezkedő magasszintű felhőkben fordulnak elő, de speciális körülmények között a felszín közelében is megjelenhetnek. Ehhez arra van szükség, hogy itt egy hidegebb és egy e felett található melegebb légréteg keveredhessen. Így a melegebb légrétegből vízpára juthat a hidegebb légrétegbe, mely megfagyva apró jégkristályok kialakulását eredményezi. Ezt a jelenséget gyémántpornak nevezzük. Mivel fagypontra (0°C) közelében a vízcseppek még megmaradhatnak folyékony (túlhűlt) állapotban, a kifagyáshoz a levegőben található jégképző magvak mennyiségének függvényében -5°C – -40°C -ra van szükség. Minél kevesebb jégképző mag található a levegőben, annál alacsonyabb hőmérsékleten megy végbe a folyamat (Greenler 1980, Ohtake et al. 1982). A gyémántpor hóval borított hegységekben illetve sarkok környékén gyakoribb, de különleges időjárási helyzetekben akár hazánkban is kialakulhat. Ezekkel a felszín közelében lévő jégkristályokkal hóagyúk közvetlen környezetében is gyakran találkozhatunk.

Mind a magasszintű felhők, mind a gyémántpor esetében kialakulhatnak halojelenségek, a bennük lévő jégkristályok mennyiségétől és minőségétől függ az egyes jelenségek erőssége. Ha kevés van belőlük, akkor a jelenség kialakulhat ugyan, de annyira halvány lesz, hogy nem érzékeljük. A leglátványosabb jelenségek akkor alakulnak ki, amikor a jégkristályok tökéletesen párhuzamosan állnak, azaz hossz tengelyük $0,15^{\circ}$ -nál kisebb szöget zár be a horizonttal. Ez rendkívül ritkán lehetséges. A jégkristályok dőlése gyakran a 30 – 40° -ot is elérheti, az ehhez kötődő halók tehát jóval gyakoribbak. A tapasztalatok szerint a nagyjából $0,01$ mm-es jégkristályok esetében a fényút rövidülése miatt nem jönnek létre észlelhető jelenségek. $0,04$ mm-es jégkristályok esetén már kialakulhatnak halvány jelenségek, de ahhoz, hogy a fenti tökéletesen vízszintes állás létrejöhessen, a méretüknek meg kell haladnia a $0,1$ mm-t.

Az is problémát jelent azonban, ha a jégkristályok mérete ennél jóval nagyobb (>1 mm). Ebben az esetben szerkezetük aszimmetrikussá válhat, illetve a lapok felületén apró hibák keletkezhetnek, melyek nagyban befolyásolják a jégkristályon áthaladó fény útját. A látványos halók kialakulása szempontjából tehát nélkülözhetetlen a jégkristályok hibát-



1. ábra - A halók kialakulásában szerepet játszó jégkristályok és azok lehetséges orientációja

lan morfológiája és a lehető legprecízebb vízszintes állása (Tape 1994). A fentieken kívül lényeges a homogenitás is. Attól függően, hogy a jelenlévő jégkristályok egy-, vagy többfélék, különböző jelenségek alakulhatnak ki. Ha egyszerre legalább két jelenség figyelhető meg, akkor komplexumról beszélünk.

Megfigyelések

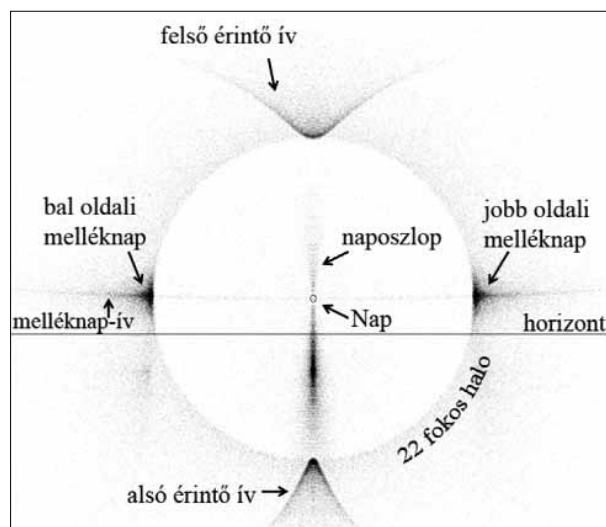
Annak ellenére, hogy a halojelenségek kialakulásához szükséges feltételek szinte bárhol fennállhatnak, aktív megfigyeléssel világszerte csupán néhányan foglalkoznak. Ennek oka részben abban keresendő, hogy a jelenségek nagy része a Naphoz viszonylag közel található, ahová az erős fény miatt kevesen néznek. Ha azonban valamilyen tereptárgy – pl. egy nagyobb fa – mögé állunk, vagy a Napot valamilyen kezünk ügyébe eső tárggyal, vagy akár a kezünkkel kitakarjuk, akkor sokkal nagyobb eséllyel pillanthatjuk meg a halókat. A Nap kitakarása szemünk épsége érdekében is rendkívül fontos, hiszen az erős napfény közvetlenül a Napba nézve tartós szemkárosodást okozhat.

Észleléseink hosszú távon történő rendszeres feljegyzése alapján a különböző helyszínekre statisztikai adatokat kaphatunk. Ezek megmutatják, hogy az észlelés helyszínén, megadott időszakban hányszor fordulnak elő halojelenségek. Jelen esetben a 2007–2008 között, Budapest és Mogyoród területén általam észlelt halók számát tüntetem fel, ugyanis ebből a kétévi adatsorból viszonylag nagy szórással lehetne csupán átlagot számolni. A folyamatos megfigyelés alatt 2007-ben 109 napon 312, 2008-ban pedig 87 napon 248 halojelenséget figyeltem meg. A legtöbb esetben egy nap – ugyanahhoz az időjárási helyzethez kötődően – több jelenség egyszerre volt megfigyelhető. Az egyes jelenségek átlagos előfordulása már e kétévi adatsor alapján is egybevezethető lenne a külföldi, több évtizedes adatsorokból kikövetkeztetett átlagokkal. Azonban ahhoz, hogy valódi átlagértékeket kapjunk, még szükséges a további hazai megfigyelés. Az észlelések során minden esetben feljegyeztem a jelenségek nevét és erősségét. Utóbbit egy 1-től 5-ig terjedő skálán helyeztem el, ahol 1 az észlelhetőség határán lévő jelenségre, az 5 pedig a rendkívül látványos jelenségre utal. Feljegyeztem ezen felül az észlelés helyét és időpontját, valamint a felhőzet típusát és mennyiségét. Minden esetben készítettem fényképet is. Megvizsgálva a halók gyakoriságát, észrevehetjük, hogy egyesek jóval gyakrabban, míg mások nagyon ritkán fordulnak elő. Ennek oka a kialakulásukhoz szükséges körülményekben keresendő.

Gyakori halojelenségek

Az egyik leggyakrabban előforduló jelenség a 22 fokos halo, mely észleléseim szerint 2007-ben 84, 2008-ban 83 alkalommal tűnt fel. Ez a fényforrást – a Napot, vagy a Holdat – körülvevő 22 fok sugarú körív, mely vélet-

lenszerűen elhelyezkedő hasábkristályokhoz kötődik. A fény az oldallapon bejutva úgy halad át a kristályon, mintha az egy 60 fokos törőszögű prizma lenne. Így a szemközti oldallapon kilépő sugár az eredeti irányhoz képest 22 fokkal térül el. A másik leggyakoribb halojelenség a melléknapp, mely a fényforrással egyvonalban, attól kb. 22 fokra helyezkedik el. 2007-ben 125, 2008-ban 85 volt megfigyelhető. Időnként mindkét oldalon észlelhető, de sokszor csak az egyik alakul ki. Néha pusztán kis fehér foltként látszik, de általában színes: a Naphoz közel eső része piros, a külső kékes színű. Évente néhány alkalommal akár rendkívül fényesen világíthat is. Kialakulása a horizonttal közel párhuzamosan álló lapkristályokhoz kötődik, a fény azok oldallapjain törik meg. A melléknapp formája a napmagasságtól független, de annak növekedésével Naptól való távolsága kissé növekszik. A melléknappok folytatásaként feltűnhet a fehér színű melléknapp-ív is. Ez a jelenség 2007-ben 15, 2008-ban pedig 9 alkalommal látszott.

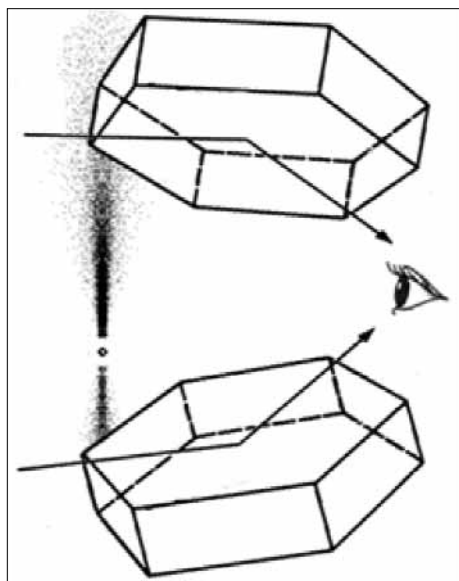


2. ábra - Gyakori halojelenségek 5 fokos napmagasság esetén (Halo Sim 3.6)

Az érintő ívek a 22 fokos halót érintik annak alsó és felső pontján – nevük ettől függően alsó illetve felső érintő ív. Kialakulásukkor a fény a hasábkristályok oldallapjain törik meg. Megfigyeléseim szerint 2007-ben 32-szer, 2008-ban pedig 31-szer jelentek meg. A felső érintő ív gyakrabban, míg az alsó ritkábban látható. Az érintő ívek formája nagyban függ a napmagasságtól. Alacsony napállásnál a felső érintő ív V alakot formáz, majd a napmagasság növekedésével mint egy madárszárny kinyílik, végül pedig a két érintő ív összekapcsolódik, s ekkor már körülíró ívről illetve körülírt halóról beszélünk. (2. ábra)

A zenit körüli ív csak 32 fokos napmagasság alatt figyelhető meg. A napmagasság csökkenésével az ív egyre távolodik a zenittől, így mérete is egyre nagyobb lesz. Akkor a legerőteljesebb, ha a Nap 22 fok magasan jár. 2007-ben 22, 2008-ban 15 alkalommal látszott.

A naposzlop az eddigiekkel ellentétben nem törési, hanem visszaverődési jelenség (3. ábra). 2007-ben 11, 2008-ban 7 alkalommal volt megfigyelhető. A jelenség gyakran halvány, látványosabb oszlopot csupán egykettőt láthatunk egy évben. Leggyakrabban sárga, pirosas vagy fehér színű, kb. $5\text{--}10^\circ$ magasságig emelkedhet a napkorong felett. Ritkábban alatta is kialakulhat, vagy ennél nagyobb is lehet. Ahogy a jégkristályok dőlésének mértéke és a Nap helye változik, aszerint változik a naposzlop mérete is. Nagyon ritkán más fényes égitestek is kialakíthatják (pl. Hold, Vénusz) (Greenler 1980, Tape 1994).



3. ábra - Az alsó és felső naposzlop kialakulása

Ritka halojelenségek

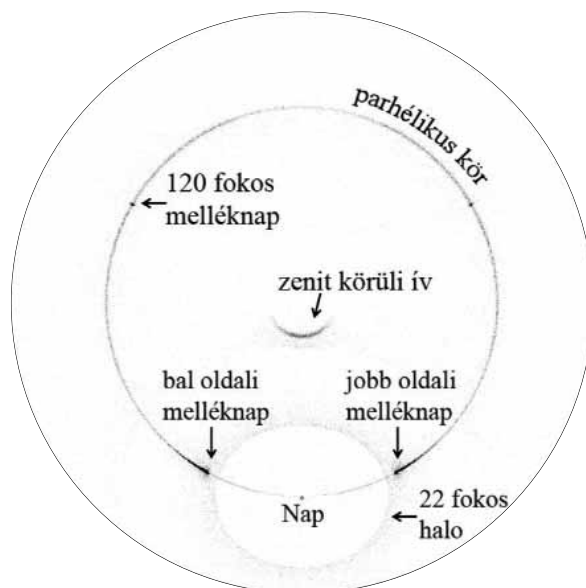
Évente néhány alkalommal sokkal ritkább halojelenségeket is megfigyelhetünk, melyek a különböző alakú és állású jégkristályok ideális helyzetéhez kötötten alakulnak ki. Ráadásul néhány jelenség kiterjedése igen nagy, akár az egész égboltot átívelő. Ahhoz, hogy ezek teljesen kialakulhassanak, rendkívül sok, hasonló tulajdonságú jégkristály jelenlétére van szükség. Ebből adódóan a ritka halojelenségek többnyire halványak, kevésbé kontrasztosak és rövid ideig láthatóak. Megpillantásukhoz tehát kitartás és szerencse is szükséges. Ezek formája és Naphoz viszonyított helyzete nagyban függ a napmagasságtól.

A felső oldalív a 22° fokos halo felett található, kialakulása csak 32° fokos napmagasság alatt lehetséges. Az alsó oldalív alacsony napmagasság esetén a 22° fokos halo két oldalán, míg magasabb napállásnál az alatt található (Tape 1994). A horizont körüli ív megjelenéséhez minimum 58° fokos napmagasság szükséges, mely hazánkban csak május 2. és augusztus 9. között valósulhat meg. Az ív a horizonttal párhuzamos, a 22° fokos halo alatt található. A 46° fokos halo kb. kétszer akkora

távolságban helyezkedik el a Naptól, mint a 22° fokos halo. A fénysugarak úgy haladnak át a jégkristályon, mintha az egy 90° fokos törőszögű prizma lenne, így a kilépő sugár az eredeti irányhoz képest 46° fokkal térül el (Minnaert 1954). Hasonló megjelenésük miatt a horizont körüli ív, az alsó és felső oldalív, illetve a 46° fokos halo könnyen összetéveszthető. A többi látható jelenségtől, a napmagasság alapján, valamint gyakorlott szem segítségével tudjuk őket megkülönböztetni (Cowley 1998-2009). Megfigyeléseim alapján felső oldalív 2007-ben 5, 2008-ban 6 alkalommal volt jelen. Alsó oldalívet 2008-ban 3, 46° fokos halót pedig 2008-ban 2 alkalommal jegyeztem fel. Utóbbi két jelenség 2007-ben nem volt megfigyelhető.

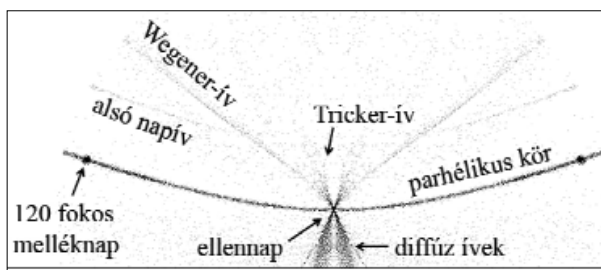
A Parry-ívek William Edward Parry nevét viselik, mivel 1820. április 8-án egy látványos halokomplexum megfigyelése kapcsán ő írt le először ilyen jelenséget. Kialakulásukhoz a hasáb alakú jégkristályok hossztengegyének, illetve alsó és felső lapjának is párhuzamosnak kell lennie a horizonttal. A Parry-ívnek több fajtája ismert, Naphoz viszonyított helyzetük nagyban függ a napmagasságtól (Cowley 1998-2009, Tape 1994). 2007-ben 4, 2008-ban 5 alkalommal sikerült Parry-ívet megfigyelnem, a jelenség minden alkalommal csak néhány percig látszott.

A parhélikus kör a Naptól kiinduló és oda visszatérő, horizonttal párhuzamos, fehér fényű kör, melynek középpontja a zenit (4. ábra). Létrejötteinek egyik lehetséges módja, hogy a horizonttal párhuzamosan álló lapkristályok egyik oldallapjáról visszaverődik a fény (Cowley 1998-2009). A kör egyes részei 2007-ben és 2008-ban egyaránt 2-2 alkalommal látszottak. Teljes parhélikus kört a két év alatt 3 alkalommal figyeltem meg: 2008. április 5-én, augusztus 25-én és szeptember 1-jén.



4. ábra - Komplex halojelenség a zenit felől nézve (Halo Sim 3.6)

Amennyiben a Nap közvetlen környezetében látványos halokomplexum látható, érdemes a hátunk mögé is nézni, ugyanis ritkán a Nappal szemközti oldalon is kialakulhatnak halojelenségek (Tape 1994). (5. ábra). Ezek közül leggyakrabban a 120 fokos melléknapot figyelhetjük meg, mely egy fehér színű, fényes folt a Naptól 120 fok távolságra, azzal egy vonalban. Akkor érdemes keresni, amikor rendkívül élénk, fényes melléknapot illetve látványos melléknapot-ív vagy parhélikus kör látszik. 2007-ben 3, 2008-ban pedig 6 120 fokos melléknapot figyeltem meg.

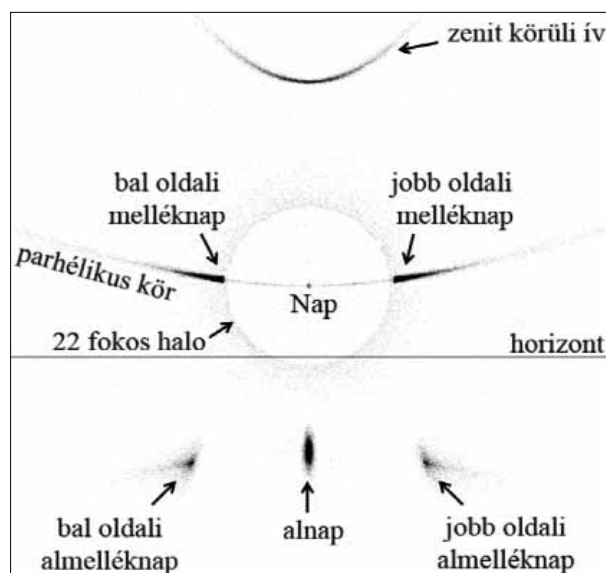


5. ábra - A Nappal szemközti halók hazánkból többévente egyszer figyelhetők meg (Halo Sim 3.6)

Szintén a Nappal ellentétes oldalon figyelhető meg – többévente egyszer – a Wegener-ív, a Tricker-ív, az alsó napív és a diffúz ívek. Ezek a jelenségek akkor alakulhatnak ki, amikor a hibátlan lapokkal rendelkező hasábkristályok tökéletesen párhuzamosan állnak, azaz hossz tengelyük $0,15^\circ$ -nál kisebb szöget zár be a horizonttal (Tape 1994). Ahhoz, hogy ezeket a jelenségeket hazánkból megfigyelhessük, a felettünk lévő magas szintű felhőzetnek igen nagy területen, teljes egészében megfelelő jégkristályokból kell állnia. Ez rendkívül ritkán valószínű, 2005 óta hazánkból ezekről a jelenségekről egyetlen megfigyelés sem született. A jelenségek megfigyelése nagyobb eséllyel lehetséges azokon a területeken, ahol a jégkristályok a talaj közelében is megjelennek. Ekkor csak a megfigyelő közvetlen környezetében, tehát jóval kisebb területen szükséges a megfelelő orientációjú hasábkristályok előfordulása. Ezen halók esetében a fényút is jóval bonyolultabb, mint az eddig tárgyaltak, ugyanis a jégkristályon belül több belső visszaverődés is szükséges kialakulásukhoz. Az ellennap a Nappal szemközti oldalon, az antiszoláris pontban megfigyelhető fehér folt. Kialakulására eddig nem született egységesen elfogadott magyarázat, de valószínűsíthető, hogy nem önálló jelenség, hanem csupán a fenti ívek erősödnek fel az itteni metszéspontban (Tape 1994).

Számos olyan halojelenséget is ismerünk, melyek megpillantásának feltétele, hogy lássuk a horizont alatti területeket (6. ábra). Ez például egy repülőgépről vagy egy magas hegy csúcsáról lehetséges. Legkönnyebben az alnapot fedezhetjük fel, amely a Nap alatti fehér színű, fényes foltként jelentkezik. Kialakulása rendkívül egyszerű: a horizonttal közel párhuzamosan álló lap-

kristályok alsó vagy felső lapjáról visszaverődő fény hozza létre. A fényút egyszerűsége miatt ez az egyik leggyakoribb jelenség, csupán a megfigyelés nehézsége miatt sorolható a ritka halojelenségek közé. A horizont alatti halók közé sorolhatjuk emellett az almelléknapot, az alparhélikus kört, a 120 fokos almelléknapot, illetve a zenit körüli ív horizont alatti párját: a nadír körüli ívet. Ezekről eddig csak néhány észlelés született (Cowley 1998-2009, Tape 1994). A 120 fokos almelléknapról például 2008. december 7–8-án készült az első felvétel (Riikonen 2008).



6. ábra - Az alnap és az almelléknapotok horizonttól való távolsága megegyezik a napmagassággal (Halo Sim 3.6)

Szintén nagyon ritka jelenségek a gúla alakú kristály okozta fénytöréssel keletkező mutató halók. Amennyiben a jégkristályok elhelyezkedése véletlenszerű, akkor különböző méretű koncentrikus köröket láthatunk a fényforrás körül. Ezeknek sugara 9, 18, 20, 23, 24 és 35 fok. Ha a jégkristályok rendezettebbek, azaz valamelyik lapjuk párhuzamosan áll a horizonttal, akkor hurokszerű 9, 18, 20, 23, 24 és 35 fokos melléknapotokat, illetve 6, 18, 20, 24 és 35 fokos érintő íveket is megfigyelhetünk (Tape 1994). Ezek közül a leggyakoribb jelenség a 9 és a 18 fokos halo, mely 2007-ben 2–2 alkalommal tűnt fel. A többi jelenségről a két év alatt nem született megfigyelés.

A halók megfigyelésekor készített felvételek, a gyűjtött jégkristályok vizsgálata és az utólagos szimuláció alapján tisztázható, hogy a jelenség milyen körülmények között alakult ki. Az így megismert kristályformákat és azok lehetséges térbeli helyzetait felhasználva a HaloSim (Cowley and Schroeder, <http://atoptics.co.uk>, 2004) programban olyan jelenségek is kirajzolódhatnak, melyekről eddig még nem készült semmilyen megfigyelés. Akad jó néhány olyan halojelenség is, melyet már megfigyeltek, de jelenlegi

ismereteink alapján nem tudunk magyarázatot adni a kialakulásukra. Ezek hátterében eddig ismeretlen formájú jégkristályokat feltételezhetünk, melyek kialakuláshoz speciális körülményekre van szükség. A fentiek alapján valószínűleg léteznek olyan jelenségek is, melyeket szimuláció alapján sem ismerünk. Így amellett, hogy látványos – talán előttünk még soha nem dokumentált – jelenségeknek lehetünk tanúi, a további megfigyelésekkel a légköri folyamatokkal kapcsolatos információinkat is bővíthetjük. Ezen felül a halojelenségek más égitestek légkörének pontosabb megismerésében is hasznosak lehetnek – ezt tekintjük majd át a cikk második részében.

Farkas Alexandra
ELTE TTK

Hivatkozások

- Cowley, L. 1998-2009: Atmospheric Optics, <http://atoptics.co.uk>
Farkas, A. 2009: Amikor megtörik a fény - Halojelenségek, Tudományos diákköri dolgozat, ELTE TTK, Meteorológiai

- Tanszék, 56, bemutatva a XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Fizika, Földtudományok, Matematika Szekciójának Meteorológia II. tagozatában, Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi- és Műszaki Kar, Szombathely, 2009. április 7-9.
Geresdi, I. 2004: Felhőfizika, Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 272.
Goda, Z. 2008: Kristálykert, Élet és Tudomány, 49, 1556-1557.
Greenler, R. 1980: Rainbows, Halos, and Glories, Cambridge University Press, New York, 195.
Minnaert, M. 1954: The Nature of Light & Color in the Open Air, Dover Publications Inc., New York, 362.
Ohtake, T., Jayaweera, K., Sakurai, K. 1982: Observation of Ice Crystal Formation in Lower Arctic Atmosphere, Journal of the Atmospheric Sciences, 39/12, 2898-2904.
Riikonen, M. 2008: Subhorizon plate crystal halos, Ice crystal halos http://www.ursa.fi/blogit/ice_crystal_halos/index.php?title=subhorizon_plate_crystal_halos
Tape, W. 1994: Atmospheric Halos, Antarctic Research Series, 64, American Geophysical Union, Washington, D.C., 143.
A cikkben látható szimulációk a HaloSim 3.6-ban készültek. (Cowley and Schroeder, <http://atoptics.co.uk>, 2004)

Egy pozitív éghajlati visszacsatolás margójára

„Hogy a tudást elsajátítsuk, tanulni kell, ám hogy a bölcsességet megszerezzük, megfigyelni kell.” (Marilyn Vos Savant)*

Mint ismeretes, pozitív visszacsatolásnak nevezzük a klimatológiában azt a jelenséget, amikor az éghajlati egyensúlytól eltérítő kényszer olyan folyamatokat indít el, amelyek végeredménye a kezdeti irányban erősödő eltérés, vagyis az éghajlat labilizálódik. Egyik ilyen pozitív visszacsatolás, ha a légkör melegevése miatt olvad a hó- és jégtakaró, kiterjedése csökken, emiatt a Föld-légkör rendszer planetáris albedója csökken, a besugárzással érkező hő nagyobb hányada marad a rendszerben, így a melegevése tovább növekszik. Végeredményben a melegevése egy öngerjesztő folyamatot indít el, amely addig tart, amíg létre nem jön egy magasabb hőmérsékletet föltételező egyensúly, vagy egy ellenkező folyamat meg nem állítja a melegevést.

A 19. század közepe, vagyis a „kisjégkorszak” vége óta Földünk átlaghőmérséklete néhány tized fokkal emelkedett, éghajlatkutatók föltételezik, hogy a 21. században ez a melegevése folytatódni fog. A fölmelegevést a fent leírt pozitív visszacsatolás csak fokozhatja. Kérdés, hogy ez utóbbi így van-e?

Vegyük sorra a tényeket. A legnagyobb kiterjedésű hó- és jégtakaró az Antarktisz szárazföldi és tengeri jégtakarója, amelynek legnagyobb része a déli szélesség 60. foka és a Déli Pólus között található. A második legnagyobb hó- és jégtakaró Grönlandon és az Északi Jeges-tenger nagyobb részén helyezkedik el, jórészt az északi sark-körtől északra. Ezeknek kiterjedése évszakonként változik, ezért csak közelítő nagy-

sággal jellemezhetjük. Az Antarktisz kb. 14 millió km², a Déli-félgömbön lévő tengerjég tél végén 20, nyár végén 5-6 millió km². Grönland kontinentális hótakarója kb. 1,7 millió km², az Északi Jeges-tenger jégtakarója nyár végén kb. 5, tél végén kb. 14 millió km². Az Északi-félgömb kontinensein a téli félévben van számottevő kiterjedésű hótakaró, többnyire a 45 szélességtől északra és igen változó kiterjedésben és időtartamig.

A felvázolt tényeknek nagy jelentősége van a pozitív visszacsatolás tekintetében. A hó- és jégtakaró túlnyomó többsége magas szélességen van, ahova télen alig vagy egyáltalán nem jut el a napsugárzás, gondoljunk a hosszú téli éjszakákra, a sarkvidéken a fél éves éjszakára, de a nyári félévben is csupán kis szögben érkezik a napsugárzás. A szárazföldi hótakaró pedig nagyrészt télen alakul ki, amikor szintén kevés a napsugárzás, hosszúak az éjszakák, és nappal is csekély a napmágnasság, tehát egységnyi felületre kevés napsugár érkezik a talajra.

Ha tehát a hótakaró kiterjedésének csökkenésével csökken a felszín albedója, ez a Földnek azokon a tájain és azon évszakokban igaz, ahova és amikor nagyon kevés napsugár érkezik vagy egyáltalán nincs napsugárzás. Jelentős besugárzás hiányában pedig az albedónak elenyésző hatása van a Föld-légkör rendszer hőháztartására, különösen akkor, ha a hótakaró kiterjedése a Föld felszínének alig 7–8%-át teszi ki. A Föld összes hótakarójának akár 10%-nyi csökkenése is a teljes földfelszín kevesebb, mint 1%-át érinti.

* M. V. Savant amerikai újságíró, aki úgy vált híressé, hogy a Guinness könyvek szerint az 1980-as években neki volt a legnagyobb intelligencia hányadosa.