Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY • 129. évf. 4. sz. • 1998. ÁPRILIS ÁRA: 150 Ft

GÁL JÓZSEF–HORVÁTH GÁBOR–POMOZI ISTVÁN–RÜDIGER WEHNER

Az égbolt polarizálatlan pontjai

avagy amit már Arago, Babinet és Brewster is ismert, de eddig közvetlenül még senki sem látott

Amikor a felkelő vagy lenyugvó Nap pírjában vagy a derült égbolt mélykékjében gyönyörködünk, nem is sejtjük, hogy e légköri optikai tünemények mögött az emberi szem számára láthatatlan, légkörfizikai eredetű fénypolarizációs mintázatok és foltok is meghúzódnak. E rejtett foltokat felfedezőjükről, a tudománytörténetben fontos szerepet játszó tudósokról, Aragóról, Babinetről és Brewsterről nevezték el. Ők mutatták ki elsőnek, hogy a poláros égbolton három kitüntetett helyzetű pont létezik, ahol az égboltfény polarizálatlan, azaz semleges (neutrális). Habár az 1810-es, ill. 1840-es években történt felfedezésük óta az Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontok mind a mai napig a légköri optika kedvenc vizsgálati tárgyainak számítanak, alkalmas leképező eljárás hiányában egészen napjainkig senki sem láthatta azokat közvetlenül. Cikkünk első részében a tudománytörténeti hátteret vázoljuk fel, a következő részben pedig arról számolunk be, miként tudtuk elkészíteni e neutrális pontok első hiteles portréját a spektrum vörös, zöld és kék színtartományaiban egy tunéziai sivatagi expedíció alkalmával. Mindezt egy olyan távérzékelési eljárás, a videopolarimetria tette lehetővé, amelyet egyre inkább alkalmaznak a légkörtudományokban is.

Természet Világa

ALAPÍTVA 1869

A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ TÁRSULAT ÉS A MAGYAR HIVATALOS KÖZLÖNYKIADÓ FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben SZILY KÁLMÁN

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY 129. ÉVFOLYAMA

1998. 4. sz. április

GÁL JÓZSEF–HORVÁTH GÁBOR–POMOZI ISTVÁN–RÜDIGER WEHNER

Az égbolt polarizálatlan pontjai

avagy amit már Arago, Babinet és Brewster is ismert, de eddig közvetlenül még senki sem látott

Első rész

Amikor a felkelő vagy lenyugvó Nap pírjában vagy a derült égbolt mélykékjében gyönyörködünk, nem is sejtjük, hogy e légköri optikai tünemények mögött az emberi szem számára láthatatlan, légkörfizikai eredetű fénypolarizációs mintázatok és foltok is meghúzódnak. E rejtett foltokat felfedezőjükről, a tudománytörténetben fontos szerepet játszó tudósokról, Aragóról, Babinetről és Brewsterről nevezték el. Ők mutatták ki elsőnek, hogy a poláros égbolton három kitüntetett helyzetű pont létezik, ahol az égboltfény polarizálatlan, azaz semleges (neutrális). Habár az 1810-es, ill. 1840-es években történt felfedezésük óta az Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontok mind a mai napig a légköri optika kedvenc vizsgálati tárgyainak számítanak, alkalmas leképező eljárás hiányában egészen napjainkig senki sem láthatta azokat közvetlenül. Cikkünk első részében a tudománytörténeti hátteret vázoljuk fel, a következő részben pedig arról számolunk be, miként tudtuk elkészíteni e neutrális pontok első hiteles portréját a spektrum vörös, zöld és kék színtartományaiban egy tunéziai sivatagi expedíció alkalmával. Mindezt egy olyan távérzékelési eljárás, a videopolarimetria tette lehetővé, amelyet egyre inkább alkalmaznak a légkörtudományokban is.

Történetünk nem a „régi görögökkel" kezdődik, hanem azzal, hogy időszámításunk szerint 1000 körül „már a régi vikingek is" kihasználták az égboltfény polarizációját (sarkítottságát) az Atlanti-óceánon való hajózásaik során. Navigációjuk nappal elsősorban a Nap irányának ismeretén alapult. Nagy bajban lettek volna azonban, ha nincs valamilyen kiegészítő orientációs módszerük is. Még nem rendelkeztek ugyanis iránytűvel, és így eltévedtek volna a nyílt vizeken, amikor a Nap a horizont alatt, vagy felhők által takarva volt. Ez pedig gyakran előfordult lakóhelyüknek a sarkkörhöz való közelsége miatt.

A vikingek már ismerték bizonyos, általuk „napköveknek" nevezett természetes kristályok (pl. a kordirit vagy turmalin) azon (az optikában dikroizmusként ismert jelenségre visszavezethető) sajátságát, hogy ha egy ilyen ásványon át nézték az égboltot és megfelelő módon ide-oda forgatták a szemük előtt, akkor az égboltfény erőssége és színe a forgatás szerint váltakozott. Ennek az az oka, hogy az égboltfény részlegesen polarizált, egy dikroikus kristály pedig attól függő mértékben ereszti át az ilyen fényt, hogy milyen annak a beesési iránya, valamint hullámhossza, és mekkora szöget zár be a rezgéssíkja a kristály optikai tengelyeivel.

Ilyen kristállyal figyelték meg a vikingek az égboltfény polarizációjának a szoláris meridiánra (vagyis az égboltnak a Napon és a zeniten áthaladó főkörére) tükörszimmetrikus eloszlását. Ennek segítségével még akkor is képesek voltak meghatározni a szoláris meridián, azaz a Nap irányát, mikor a Nap köd vagy felhők miatt nem volt látható, de az égbolt jó része igen. Ez a fajta navigáció természetesen teljesen borult időben nem működött. (Meg kell jegyeznünk, hogy a vikingek dikroikus napkövek használatán alapuló tengeri tájékozódására vonatkozó, szórványos régészeti és történelmi adatokkal alátámasztott elméletet néhány kutató kétségbe vonja.)

Az égbolt polarizációjának és neutrális pontjainak felfedezése

Természetesen a vikingek semmit sem tudhattak az égboltfény mibenlétéről vagy a fénypolarizációról, ill. a dikroizmusról. Ők csak a „napkövek" említett tulajdonságát ismerték és az égbolt szoláris meridiánra való tükörszimmetriáját. De ez elég is volt nekik a tengeri navigációjukhoz. Megfelelően pontos dokumentáció és kellően erős kulturális kölcsönhatások hiányában azonban ez az ismeretük nem öröklődött át más népekre, nem folytatódott más kultúrákban.

Így fordulhatott elő, hogy mintegy nyolc évszázaddal a vikingek után 1809-ben Dominique Francois Jean Arago (1786–1853) francia fizikus és csillagász (**1. ábra**) újra felfedezte az égboltfény polarizációját. Ennek előzményéül szolgált, hogy 1669-ben a dán Erasmus Bartolinus (1625–1698) felfedezte a kalcit-(mészpát-) kristály kettős törését, majd 1690-ben a holland Christian Huygens (1629–1695) a kalcit által kettősen megtört fény polárosságát, 1808-ban pedig Étienne Louis Malus (1775–1812) észrevette a visszaverődő fénynek a felülettel párhuzamos sarkítottságát.

Arago a felfedezése után nekilátott meghatározni az égbolt polarizációjának eloszlását, valamint kimérni a sarkítottság maximumát és annak helyét. Eközben fedezte fel, hogy az égboltnak a Nappal átellenes oldalán lévő „anti-Nap" fölött, az antiszoláris meridián egy pontjában zérus a polarizáció foka, vagyis az innen jövő fény polarizálatlan, azaz semleges (neutrális).

A fénypolarizáció jelenségének a vikingektől független újrafelfedezése tudománytörténetileg azért volt jelentős, mert ez vezetett el annak felismeréséhez, hogy a fény nem longitudinális (tehát nem a terjedési iránnyal párhuzamos rezgésű), hanem transzverzális (azaz a terjedési irányra merőleges rezgésű) hullámforma. Thomas Young (1773–1829) 1817-ben vetette fel először a fényhullám transzverzális voltát egy Aragónak írt levelében. Augustin Fres-

1. ábra. Dominique Francois Jean Arago (1786–1953) francia fizikus, matematikus és csillagász, az égbolt első neutrális pontjának felfedezője

nel (1778–1827) 1821-ben dolgozta ki a fénypolarizáció elméletét (Fresnel-formulák) s látta be, hogy a kettős törés longitudinálisnak elgondolt fényhullámokkal nem magyarázható meg, mert csak transzverzális hullámokkal lehet megindokolni a különböző irányokban poláros komponensek közti interferencia hiányát. A polarizált fénnyel végzett interferencia-kísérletei elég alapot szolgáltattak ahhoz, hogy kimondhassa a fényrezgés transzverzális jellegét.

A fény hullámtermészetéért kardoskodó Huygens még longitudinális hullámnak képzelte a fényt. Ezzel szemben Isaac Newton (1642–1727) a fényt részecskék terjedéseként értelmezte, és a polarizáció miatt a fényrészecskéket új tulajdonsággal, a pólusokkal ruházta fel. Innen ered a Malus-teremtette „fénypolarizáció" (magyarul „fénysarkítás") szó.

Az égbolt első neutrális pontjának Arago általi felfedezése (1810 körül) után 1811-ben Jean Baptiste Biot (1774–1862) kimutatta, hogy a szivárvány is poláros. Ezután mintegy harminc év telt el, mire 1840-ben Jacques Babinet (1794–1872) francia fizikus és meteorológus megtalálta az égbolt második neutrális pontját. A Babinet-féle pont a szoláris meridiánon, a Nap fölött helyezkedik el kb. ugyanakkora szögtávolságra, mint az Arago-pont az anti-Naptól.

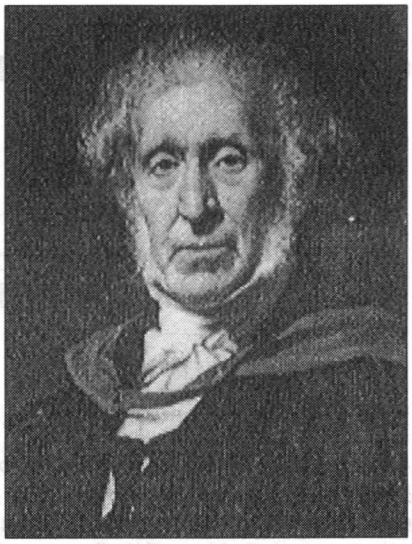
Mai szemmel nézve a Babinet-pont megtalálásának az Arago-pont felfedezésétől számított három évtizedes késése annál inkább meglepő, mert az égbolt polarizációjának vizsgálata akkoriban egyike volt a legizgalmasabb tudományos kérdéseknek, másrészt pedig a Babinet-pontot nem volt nehéz megfigyelni az abban az időben használatos, Felix Savart (1791–1841) által feltalált polariszkóppal.

Amilyen sok év telt el az első két neutrális pont felfedezése között, olyan kevés időbe tellett a harmadik neutrális pont felfedezése a Babinet-pont megtalálásának bejelentését követően. Sir David Brewster (1781–1868) skót fizikus (**2. ábra**) szimmetriamegfontolások alapján arra a következtetésre jutott, hogy ha létezik egy neutrális pont a Nap fölött, akkor alatta is lennie kell egynek ugyanakkora szögtávolságra. Nekilátott hát egy Savart-polariszkóppal e neutrális pont keresésének. 1842 februárjában sikerrel járt, s felfedezte az égbolt harmadik és egyben utolsó, később róla elnevezett neutrális pontját az elméletileg megjósolt helyen. Felfedezését nyomban megírta Babinet-nek, aki többszöri eredménytelen kísérlet után 1846 júliusában megtalálta a Brewster-féle neutrális pontot.

Ezzel be is fejeződött az égboltpolarizáció fő neutrális pontjai felfedezésének a története. Később maga Brewster még egy, másodlagos neutrális pontot is megfigyelt az Arago-pont alatt, s az idő teltével eltérő szerzőktől számos beszámoló született több, rendellenes (másodlagos) neutrális pont megfigyeléséről (pl. az Arago-pont két oldalán). Ezek az abnormális neutrális pontok nagyon ritkán, speciális meteorológiai viszonyoknak köszönhetően jelentek, ill. jelennek meg.

Nem lenne teljes az égboltpolarizáció felfedezésének vázlatos története, ha nem ejtenénk szót Lord Rayleigh, más néven John William Strutt (1842–1919) Nobel-díjas angol fizikusról (**3. ábra**), aki elsőnek adott helyes elméleti magyarázatot e jelenségre. Egészen Rayleigh 1871-ben megjelent e tárgyú cikkéig a légköri optika egyik rejtélyének számított az égboltfény intenzitásának, színének és polarizációjának a magyarázata. Ez ugyanis nem sikerült az addig uralkodó feltételezésekkel, amelyek szerint az égbolt kék színe és polarizációja a napfénynek a légkörben lebegő apró vízcseppeken vagy egyéb részecskéken való törésére és az azokról történő visszaverődésére vezethető vissza.

Rayleigh mutatott rá, hogy e légköri optikai jelenségek a napfénynek a fényhullámhossznál sokkal kisebb, légkörbeli részecskéken történő szóródásával magyarázhatók. Az így szóródó fény intenzitása a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos, azaz minél rövidebb a hullámhossz (minél közelebb esik az ultraibolya tartományhoz), annál erősebben szóródik a fény. Később e szórási típus Rayleigh-ről kapta a nevét.



2. ábra. Sir David Brewster (1781–1868) skót fizikus, az égbolt harmadik neutrális pontjának felfedezője

A neutrális pontok felfedezői

Arago

A fény hullámtermészetét megalapozó francia iskola legnagyobb tekintélynek örvendő tagja Arago volt, aki egy személyben számított neves fizikusnak, csillagásznak, matematikusnak és közéleti személyiségnek. 1806-ban Biot-val együtt vezette a méter pontos definíciójához szükséges geodéziai méréseket Spanyolországban. 1811-ben neki sikerült kísérletileg kimutatni, hogy a fényelhajlásnak és fényinterferenciának köszönhetően egy kis körlap árnyékának középpontjában mindig világos (az ún. Poisson-féle) folt van, ami különösen meggyőző bizonyítéka volt a fény hullámtermészetének. Ugyancsak 1811-ben mutatta ki, hogy a kvarc a lineárisan poláros fény rezgéssíkját bizonyos szöggel elforgatja. E jelenséget nevezzük természetes optikai aktivitásnak. 1812-ben szerkesztette meg üveglapokból a később róla elnevezett polárszűrőt.

Arago 1815-ben fedezte fel a később róla elnevezett törvényt, amely szerint két, egymásra merőleges síkban poláros fényhullám látszólag nem interferenciaképes, mert az eredő fényintenzitás kifejezésében az ún. interferenciás tag a merőlegesség miatt eltűnik, így a két sugár sem erősíteni, sem gyengíteni nem képes egymást; rezgésük eredője ellipszis lesz. E felismerés fontosnak bizonyult az anizotrop (pl. a fényt kettősen törő) közegek optikai tulajdonságainak fenomenologikus leírásában.

Folytatván a természetben előforduló polarizáció felkutatását, 1819-ben Arago megfigyelte, hogy az üstökösök csóvájáról jövő fény is poláros, 1825-ben pedig kimutatta a meteorológiában 22°-os halónak nevezett légköri optikai jelenség gyenge polarizációját. 1824-ben demonstrálta az izzó fémek kibocsátotta fény polárosságát, majd ugyancsak ő mutatta ki elsőnek a Hold felszínéről visszavert napfény kicsi, de mérhető polarizációját.

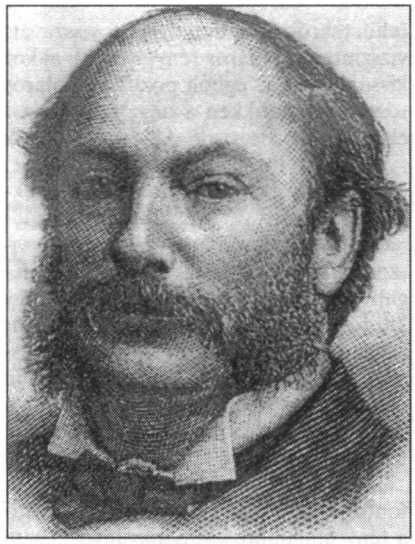
Elgondolása és mérőberendezése alapján 1850-ben Armand Fizeau (1819–1896) és Jean Foucault (1819–1868) mérték meg a fény terjedési sebességét rövid távolságokon levegőben és vízben, mivel maga Arago látása rohamos romlása folytán már nem tudta elvégezni a mérést. Nevét viseli a légkörben fellépő Arago-effektus is: a földi légkör eltérő hőmérsékletű, és így különböző törésmutatójú rétegeinek turbulens keveredése miatt a távoli fényforrások (pl. csillagok) fénye a Föld felszínéről nézve vibrálni, jellegzetesen „pislogni" látszik.

Arago maradandót alkotott az elektromos áram mágneses hatásainak vizsgálatában is. Joseph Louis Gay-Lussackal (1778–1850) együtt elsőnek készített elektromágnest. Nevét az elektromágneses jelenségek terén az Arago-kísérlet őrzi: forgó rézkorong fölé helyezett mágnestű forgásba jön.

1830-tól kezdve a Francia Akadémia titkára volt. A politikai életben is részt vett (1848-ban miniszter volt), és igen kiterjedt tudománynépszerűsítő tevékenységet is folytatott.

Babinet

A fényforrások spektrumának vizuális tanulmányozására Babinet szerkesztett először prizmás spektroszkópot, amit aztán Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) és Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899) használt és fejlesztett tovább 1859-ben. Babinet-ről nevezték el azt az optikai elvet is, amely szerint valahányszor egy megvilágított F felület nyílásai mögött egy elemien kicsi ΔF ernyőfelület geometriai árnyékba esik, akkor is, amikor az F nyílásait pontosan befedjük, falait pedig eltávolítjuk, vagyis F-et egy F' komplementer felülettel pótoljuk, mindannyiszor a ΔF-en észlelhető elhajlási kép megegyezik a komplementer esetben keletkezővel. A Babinet-elvből következően egy felület mentén szabálytalanul elhelyezkedő részecskéken a fényelhajlás ugyanolyan, mint egyetlen részecskén, csak az elhajlított fény intenzitása sokszorta nagyobb. Ugyanez az oka a sötét szobából párás ablakon át megfigyelhető gyűrűknek, valamint a fátyolfelhők esetén a Hold körül látható „udvar"-nak is.



3. ábra. Lord Rayleigh, alias John William Strutt (1842–1919) Nobel-díjas angol fizikus, aki elsőnek adott helyes elméleti magyarázatot az égboltfény intenzitásának, színének és polarizációjának a kialakulására

Ugyancsak Babinet nevét viseli egy kvarcból csiszolt ékpárból álló kompenzátor, amely lineárisan és elliptikusan poláros fény kölcsönös egymásba alakítására, ill. az elliptikusan poláros fény vizsgálatára szolgáló optikai eszköz. Színes, optikailag egytengelyű kristályokra Babinet ismerte fel a kristályok dikroizmusának tanulmányozásánál fontos szabályt, amely szerint az ún. főtörési index irányának egyszersmind a főabszorpciós index felel meg. Kettősen törő színes közegekben ugyanis a törési indexhez hasonlóan az abszorpciós index is iránytól függő lehet.

Több más, fontos fizikai eszközt is épített. Szerkesztett pl. egy higrométert (légnedvességmérőt), egy, az átlátszó anyagok törésmutatójának meghatározására szolgáló szögmérőt, és egy kétköpüs légszivattyút. Az utóbbiban egy olyan, róla elnevezett speciális csapot alkalmazott, amellyel jelentősen ki tudta tolni a légritkítás addigi határát.

Brewster

Brewster 1813-ban fedezte fel a később róla elnevezett csíkokat, amelyek két, azonos vastagságú, egymással kis szöget bezáró síkpárhuzamos üveglemeznél jönnek létre fényinterferencia révén. E Brewster-féle csíkok vizuális megfigyelésére alapul több olyan interferométer, amely elsősorban kis törésmutató-különbségek mérésére szolgál.

Brewster 1815-ben tapasztalati úton bizonyította, de csak 1860-ban közölte, hogy egy átlátszó közeg törésmutatója egyenlő a teljes polarizáció szögének tangensével. E Brewster-törvény következménye, hogy teljes polarizációnál a megtört fénysugár merőleges a visszavert sugárra.

Brewster 1833-ban a klorofill, öt évvel később a mészpát floureszcenciáját figyelte meg, 1846-ban pedig kimutatta, hogy a jelenség oka a test belsejében rejlik, és a belső diszperzióra vezethető vissza. Foglalkozott még a hősugárzás különböző közegekbeli elnyelődésével is.

1834-ben ő adott elsőnek magyarázatot a Nap színképében megjelenő Fraunhofer-féle sötét vonalakra. 1832-ban észrevette ugyanis, hogy a gőzökön (pl. a salétromsav gőzén) átvezetett fény spektrumából bizonyos színek hiányoznak. Ilyen elnyelési következménynek tekintette a Fraunhofer-féle vonalakat is. Véleménye szerint a Napból jövő fény teljes színképéből a Föld légköre szűri ki a hiányzó színeket.

A neutrális pontok kialakulásának oka

Lord Rayleigh jött rá elsőnek arra, hogy ha a földi légkörben az eredendően polarizálatlan napfény sugarai (fotonjai) csak egyetlen egyszer szóródnának (e közelítést hívjuk Rayleigh-modellnek), akkor a földfelszínről nézve az égbolt fénypolarizációjának az eloszlása viszonylag egyszerű képet mutatna: (i). A Nap irányától távolodva a polarizációfok nulláról fokozatosan növekedne, mígnem a Naptól 90°-ra elérné maximumát, a 100%-ot, majd ismét csökkenni kezdene, s a Nappal ellentétes pontban, az ún. anti-Nap helyén ismét zérus lenne (ii). Az égboltfény polarizációs iránya, azaz elektromos vektora (E-vektora) mindig merőleges lenne arra a síkra, amely átmegy a földi megfigyelőn, a Napon és az égbolt megfigyelt pontján. E síkot a fizikában szórási síknak nevezik. A légköri optikában pozitív polarizációról beszélnek, ha az E-vektor merőleges e síkra. A Rayleigh-modellben tehát az egész légkörben pozitív a levegőmolekulákon szóródó napfény polarizációja.

A valóságban azonban a fotonok nemcsak egyszer, hanem akár többször is szóródhatnak a légkörben, mire lejutnak a földfelszínre. Ha egy foton egynél többször szóródik, akkor a polarizációjára már nem érvényes a fenti két, Rayleigh-féle szabály. A többszörösen szórt fény E-vektorának az iránya már nem lesz merőleges a szórási síkra, s előfordulhat az is, hogy közel vagy éppen párhuzamosan lesz azzal, mikor is negatív

polarizációról beszélünk. Minél gyakoribb a légkörben a fotonok többszörös szóródása, annál jobban eltér az égbolt polarizációja a Rayleigh-modell jósolta helyzettől, azaz egyre nagyobbá válik a negatív polarizációs járulék. Ennek eredményeként az eredő polarizációfok egyre kisebb lesz. A később Nobel-díjas indiai származású fizikus, légkörfizikus és asztrofizikus, S. Chandrasekhar (1950) ismerte fel, hogy milyen nagy jelentőségű a többszörös szórás az égboltfény polarizációjának alakulásában.

Az égbolt azon helyei tökéletesen polarizálatlanok, ahonnan egyforma mennyiségű, pozitívan és negatívan poláros szórt fény sugárzódik a földi megfigyelő felé. Itt jönnek létre a neutrális pontok. E pontok és a Nap, ill. anti-Nap között negatív a polarizáció, míg az égbolt más részein pozitív. A teljes égbolt polarizációfokának átlaga 40%. Az anti-Nap és az Arago-féle neutrális pont közötti negatív polarizáció fokának maximuma 20–30%, míg a Nap és a Babinet-, valamint a Brewster-féle neutrális pontok között fellépő negatív polarizációé csak 6% körüli. Ez az oka annak, hogy az Arago-pontot sokkal könnyebb polariszkópokkal megfigyelni, mint a másik kettőt.

Konkrét példaként tekintsük az Arago-pont kialakulását a Nappal szemközt lévő anti-Nap fölött naplementekor (vagy napkeltekor). Ekkor az égbolt elsődleges fényszórásból eredő globális polarizációjára az jellemző, hogy a horizont közelében függőleges az E-vektor, azaz negatív a polarizáció, s távolodván a horizonttól, egyre inkább pozitívvá válik. Mivel a Nap a horizont alatt tartózkodik, az égboltnak az anti-Nap környéki része főleg a légkör alsóbb, horizonthoz közeli régióiból kapja a megvilágítást, ami mint említettük, negatívan poláros. Az anti-Nap közelében lévő levegőmolekulák ezt a negatív polarizációjú fényt szórják vissza, s ezért lesz az égbolt e része is negatívan poláros. Az égboltnak az anti-Naptól távolabbi részei egyre több, pozitívan poláros fényt kapnak az atmoszféra pozitív polarizációjú felsőbb részeiből, így itt az eredő polarizáció pozitívba csap át. Az átcsapás pontos helyén, ahonnan polarizálatlan fény jön, figyelhető meg az Arago-pont. Hasonlóan vezethető le és magyarázható kvalitatíve a Babinet- és Brewster-pontok kialakulása.

A neutrális pontok pontos helye tehát erősen függ a megvilágítási viszonyoktól. Ebben a Nap égbolton elfoglalt helye döntő szerepet játszik, hiszen az elsődleges fényforrás a Nap. Másik fontos járuléknak számít a Föld felszínéről visszavert fény mennyisége és polarizációja. Ha az utóbbi pozitív (pl. nagy vízfelületekről az atmoszférába visszavert vízszintesen poláros fény esetén), akkor kissé megnő az égbolt pozitívan poláros része, azaz csökken a negatív polarizációjú régiók kiterjedése. Mivel e régiók mindig a neutrális pontok és a Nap, ill. anti-Nap között fordulnak elő, ezért ekkor a neutrális pontok közelebb húzódnak a Naphoz, ill. anti-Naphoz. Ha viszont a földfelszínről visszavert fény negatívan poláros (magas albedójú, nagy kiterjedésű, érdes, pl. frissen behavazott felületeknél), akkor értelemszerűen kissé kiterjednek a negatív polarizációjú égbolttartományok, s ilyen esetben a neutrális pontok távolodnak a Naptól, ill. anti-Naptól.

A neutrális pontok kialakulásában fontos szerepet játszó harmadik tényező a fény hullámhossza. Szokványos, tiszta légköri viszonyok mellett általános szabály, hogy minél rövidebb a hullámhossz, annál kisebb az égboltfény polarizációfoka. E jelenséget nevezik diszperziónak, azaz a fény hullámhosszától való függésnek. Nagyobb hullámhosszak esetén ($\lambda > 500$ nm) csak kevésbé függ a polarizáció a fény színétől; de igen erős e függés a rövidebb hullámhosszaknál. Ennek oka is a fény többszörös szóródásában keresendő. A fény egyszeres (elsődleges) szóródásából származó pozitív polarizáció foka alapvetően független a fényhullámhossztól. A többszörös szórás azonban, mint láttuk, negatív polarizációt eredményez, ami csökkenti az eredő polarizációt. Minél intenzívebb a többszörös szórás, annál erősebb a negatív polarizáció hatása, azaz annál kisebb a polarizációfok. A szóródás Rayleigh-féle törvényéből következően a fény annál erősebben szóródik, minél kisebb a hullámhossza. Márpedig többszörösen csak akkor szóródhat egy foton, ha egyszer már szenvedett szóródást. Ily módon a rövidebb hullámhossz-tartományokban a Rayleigh-szórás eredményeként sokkal erőteljesebb a többszörös fényszórás, azaz drasztikusan kisebb a polarizációfok.

A fényszórás erősségének diszperziója tehát azt eredményezi, hogy a Napot és anti-Napot környező negatív poláros régió a rövidebb hullámhosszak esetén kiterjedtebb, mint a hosszabbakra. Ennek az a végső következménye a neutrális pontok helyére, hogy azok az ultraibolya és kék színtartományban távolabb helyezkednek el a Naptól, ill. anti-Naptól, mint a spektrum zöld és vörös tartományaiban. Mindez szépen demonstrálja az égboltfény polarizációjának hullámhosszfüggését. ■

(A cikk második részét májusi számunkban közöljük. A szerzők munkáját az OTKA F–014923 támogatja.)