

# AZ ÉGBOLTPOLARIZÁCIÓ ÉS AZ ÁLLATOK

**A természetben előforduló egyik legfeltűnőbb fénypolarizációs jelenség a tiszta égbolton látható egy egyszerű lineáris polárszűrővel. Számos polarizációra érzékeny szemű állat tájékozódásra használja e mintázatot. Ma már videopolarimetriával a spektrum tetszőleges tartományában mérhető és látványosan meg is jeleníthető az egész égboltra kiterjedő polarizációs mintázat.**

**A**z égbolt fényének polarizációját *Dominique François Jean Arago* (1786–1853) francia fizikus és csillagász 1809-ben fedezte fel. Azt is megfigyelte, hogy az égboltnak a Nappal átellenes oldalán levő anti-Nap fölött, az úgynevezett *antiszoláris meridián* egy pontjában zérus a polarizáció foka, vagyis az innen jövő fény polarizálatlan, azaz semleges, neutrális (2. b-c ábra). *Jacques Babinet* (1794–1872) francia fizikus és meteorológus 1840-ben találta meg az égbolt második neutrális pontját. A *Babinet-féle pont* (2. b-c ábra) a szoláris meridiánon, a Nap fölött helyezkedik el, körülbelül ugyanakkora szögtávolságra, mint az *Arago-pont* az anti-Naptól. *David Brewster* (1781–1868) skót fizikus 1842-ben fedezte fel a harmadik neutrális pontot a szoláris meridiánon a Nap alatt, nagyjából ugyanakkora szögtávolságra, mint a *Babinet-pont*. A neutrális pontok helye az égbolton érzékeny indikátora a légkörbeli aeroszol mennyiségének és fajtájának. Minél nagyobb az aeroszol mennyisége, annál erőteljesebb a fény légkörbeli többszörös szóródása, s annál nagyobb a neutrális pontoknak a Naptól, illetve az anti-Naptól mért szögtávolsága.

## Rayleigh és az E-vektor

*Lord Rayleigh*, más néven *John William Strutt* (1842–1919), a későbbi Nobel-díjas angol fizikus adott elsőnek helyes elméleti magyarázatot az égbolt polarizációjának jelenségére. Ő mutatott rá 1871-ben, hogy a napfény a fény hullámhosszánál sokkal kisebb légkörbeli részecskéken szóródik, s az így szóródó fény intenzitása fordítottan arányos a hullámhossz negyedik hatványával. Azaz minél rövidebb a hullámhossz, vagyis minél közelebb esik az ultraibolya tartományhoz, annál erősebb a szóródás. Ez okozza többek között az égbolt kék színét, a lemenő Nap piáját és az égbolt polarizációját is.

Egy közép-tunéziai sivatagi expedíció során, 1996 augusztusában videopolarimetriával sikerült kimérnünk és ábrázolnunk az égbolt polarizációs mintázatát a szoláris és antiszoláris meridián mentén, a spektrum látható és ultraibolya tartományában (1. és 2. ábra). Méréseink kiértékelése után pótolni tudtuk az égboltpolarizációnak és a neutrális pontoknak az 1810-es, illetőleg 1840-es évekbeli felfedezése óta tartó hiányt, azt, hogy még nem készült rólok nagylátószögű polarizációs „portré”. Tudományos értékű portrén a tiszta égbolt polarizációs mintázatának, azaz a polarizációs fok és irány térbeli eloszlásának nagy fel-

bontású kimérése és a kvantitatív adatok hamisszínes eloszlástérképeken való ábrázolása értendő.

Ha a légkörben az eredendően polarizálatlan napfény fotonjai csak egyszer szóródnának (*Rayleigh-közelítés*), akkor az észlelő számára az égbolt polarizációjának az eloszlása a következő képet mutatná: a Nap irányától távolodva a polarizációs fok nulláról fokozatosan növekedne, mígnem a Naptól 90 foknyira elérné maximumát, a 100 százalékot, majd ismét csökkenni kezdene, s a Nappal ellentétes pontban, az anti-Nap helyén ismét zérus lenne. Az égbolt fényének polarizációs iránya, azaz *elektromos vektora* (E-vektora) mindig merőleges lenne arra a síkra, amely átmegegy a földi megfigyelőn, a Napon és az égbolt megfigyelt pontján.



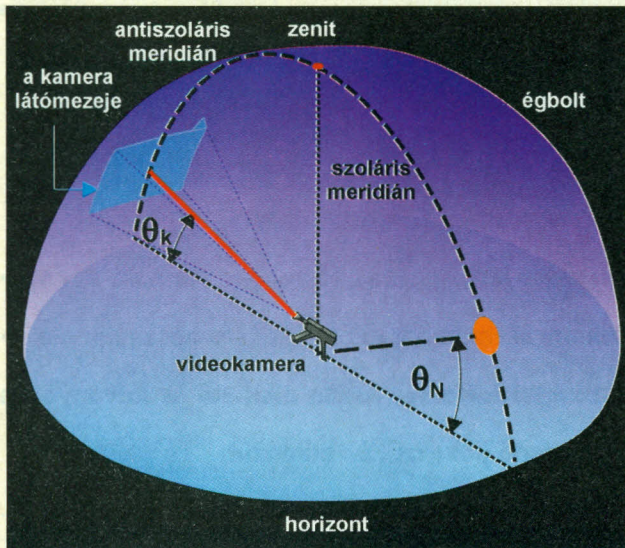
## Chandrasekhar és a többszörös szóródás

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 Rayleigh-féle közelítés. A többszörösen szórt fény *E-vektorának* iránya már nem mindig merőleges a szórási síkra. Minél gyakoribb a légkörben a fotonok többszörös szóródása, annál jobban eltér az égbolt polarizációja a Rayleigh-modell jóslata helyzettől. Ennek eredményeként az eredő polarizációs fok egyre kisebb lesz. A később ugyancsak Nobel-díjjal jutalmazott indiai származású fizikus, légkörfizikus és asztrofizikus, *S. Chandrasekhar* ismerte fel az 1950-es években, hogy milyen nagy szerepe van a többszörös szórásnak az égbolt fénypolarizációjának alakulásában. Tiszta légköri viszonyok közepette általános szabály, hogy minél rövidebb a fény hullámhossza, annál kisebb az égbolt fényének polarizációs foka. Nagyobb hullámhosszak ( $\lambda > 500$  nanométer) esetén a polarizáció kevésbé függ a fény színétől, de a rövidebb hullámhosszakon igen erős ez a függés. Az égbolt polarizációs mintázatának jellemzője, hogy tükörszimmetrikus a szoláris és antiszoláris meridiánra (2. ábra).

## Az aranyásó hangyák titka

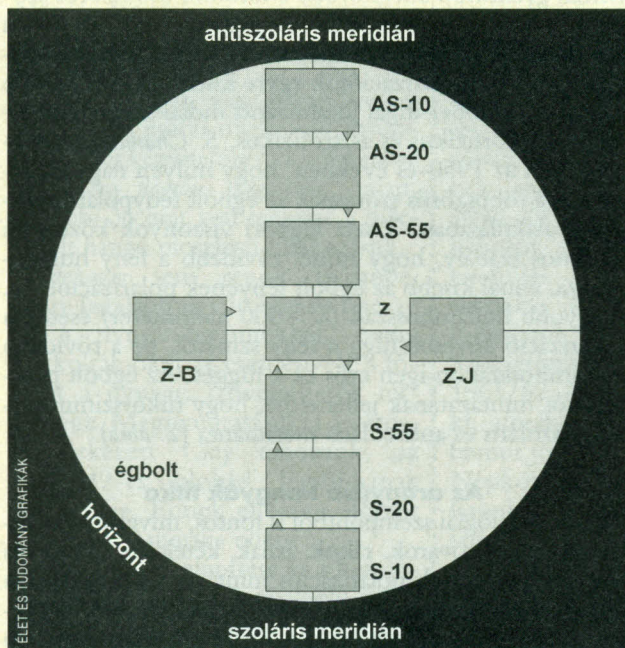
Mindez biológiai szempontból is fontos, mivel számos állat (bizonyos rovarok, rákok, halak, kétélűek, hüllők és madarak) az égbolt polarizációs mintázatát is felhasználja térbeli tájékozódásra (orientációra és navigációra). Ezt elsőnek (a később szintén Nobel-díjjal kitüntetett) *Karl von*



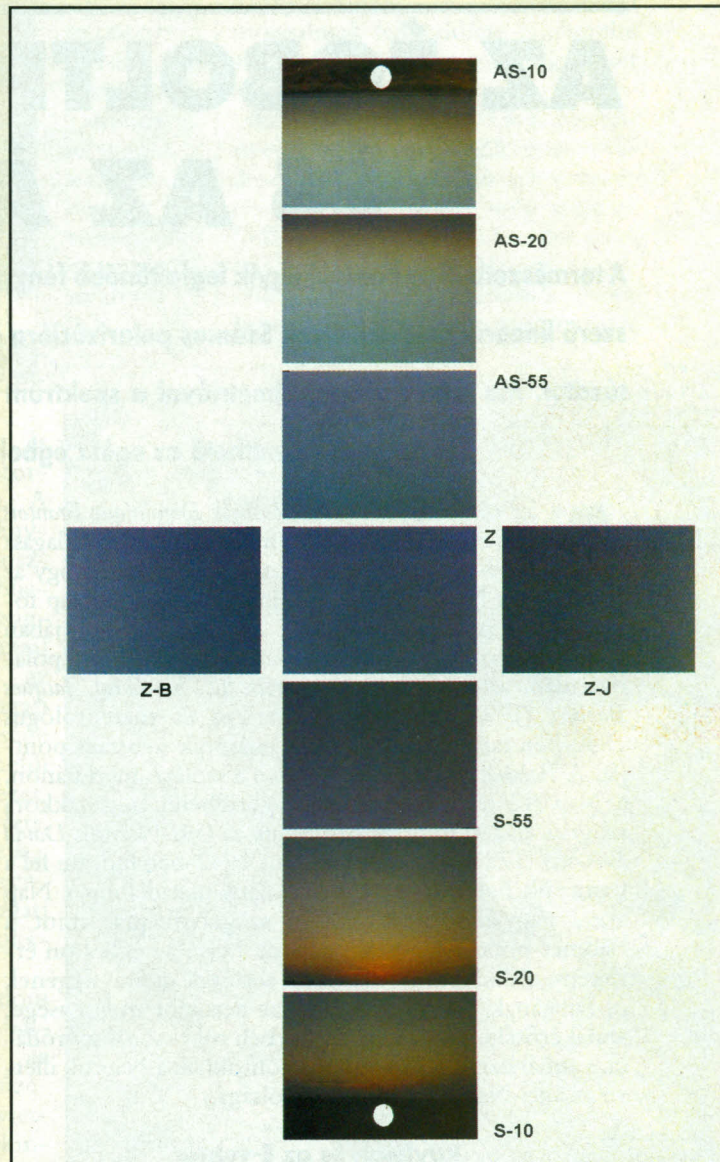


1/A. ÁBRA. A. AZ ÉGBOLTFÉNY VIDEOPOLARIMETRIÁS MÉRÉSÉNEK GEOMETRIÁJA. A VIDEÓKAMERÁNAK, ILLETŐLEG A NAPNAK A VÍZSZINTESTŐL MÉRT HAJLÁSSZÖGE (ELEVÁCIÓJA)

1/B. ÁBRA. A VIDEOPOLARIMETRIÁS FELVÉTELEK KÜLÖNBÖZŐ IRÁNYAI ÉS ABLAKAI AZ ÉGBOLTON. (AZ ÖSSZESÍTŐ ÁBRA EGY KÉPZELETBELI KÜLSŐ MEGFIGYELŐ SZEMSZÖGÉBŐL, „ÜRHAJÓS-PERSPEKTÍVÁBÓL”. AMIKOR A KAMERA AZ ANTISZOLÁRIS ÉS SZOLÁRIS MERIDIÁN FELÉ NÉZ, A LÁTÓMEZEJÉT JELKÉPEZŐ TÉGLALAP ALAKÚ ABLAKOT AS-SSEL, ILLETVE S-SSEL JELÖLJÜK. AZ AS ÉS S MÖGÖTTI SZÁMOK A KAMERA FOKBAN MÉRT ELEVÁCIÓJÁT ADJÁK MEG. A Z ABLAK AZ ÉGBOLT ZENIT KÖRÜLI TARTOMÁNYÁT FIGYELI. A Z-J ÉS Z-B ABLAKOK ESETÉBEN A KAMERÁT ELŐSZÖR 90 FOKKAL ELFORGATTUK A SZOLÁRIS MERIDIÁNTÓL JOBBRA, ILLETVE BALRA, MAJD 45 FOKKAL FELFELÉ IRÁNYÍTOTTUK A SZOLÁRIS MERIDIÁNRA MERŐLEGES SÍKBAN. A KAMERA LÁTÓMEZEJÉNEK VÍZSZINTES IRÁNYÚ KITERJEDÉSE 50, FÜGGŐLEGESEN 40 FOK.



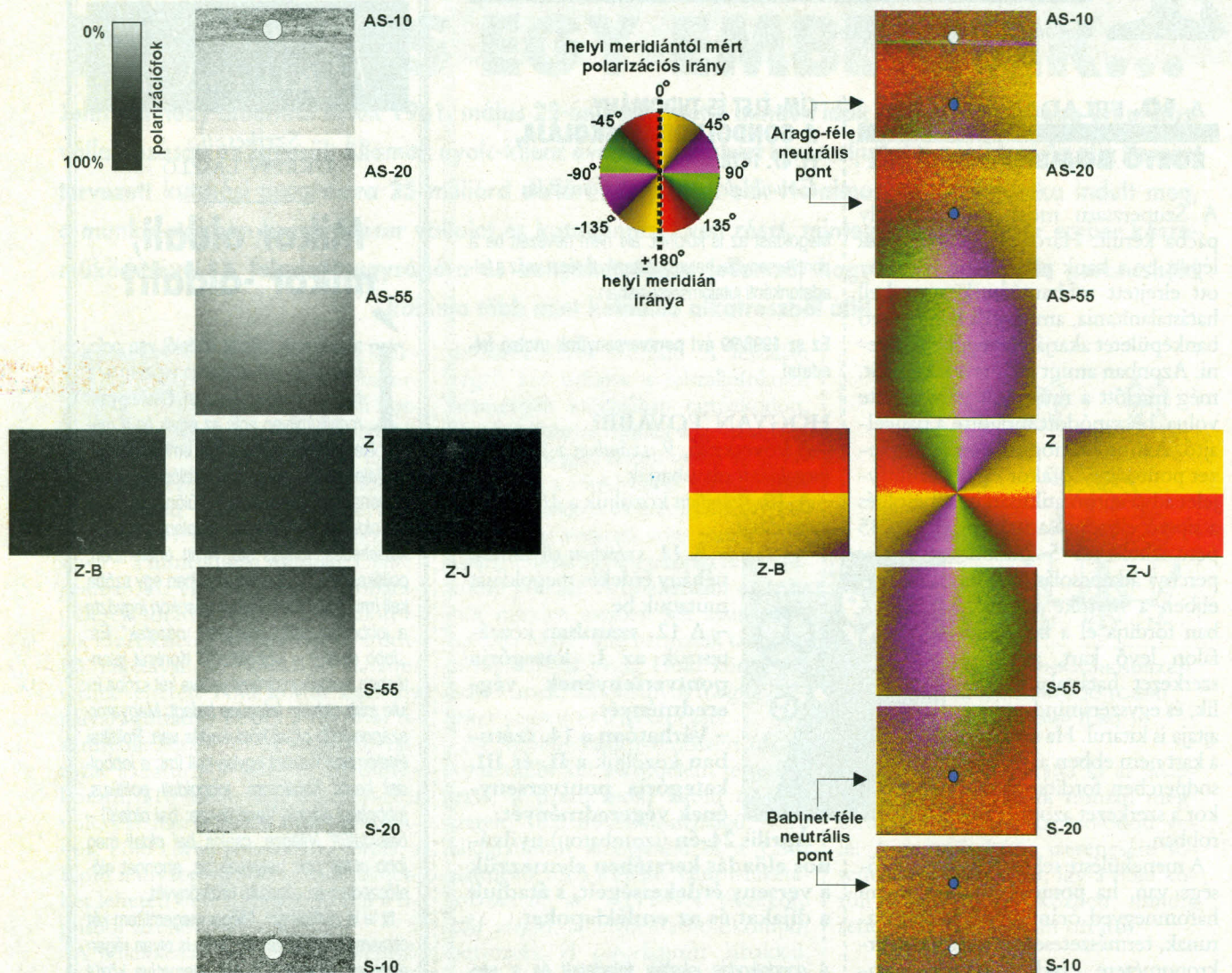
ÉLET ÉS TUDOMÁNY GRAFIKÁK



Frisch osztrák biológus fedezte fel háziméheknél az 1940-es években. A méhekhez hasonlóan például a *Cataglyphis* nemzetséghez tartozó sivatagi hangyák tájékozódása is részben az égbolt polarizációján alapul, amikor a Napot a felhők miatt nem látják. E hangyák az ég polarizáció-eloszlásának tükröszimmetriája segítségével határozzák meg a tájékozódásukhoz szükséges viszonyítási irányt, a szoláris meridiánt. A sivatagi hangyák homokos területeken élnek, föld alatti fészkekben laknak, és a felszínen a hőség miatt elhullott rovarokra vadásznak. A fészkek nyílását elhagyva véletlenszerűen bolyongva kutatnak a tetemek után. Mihelyt találnak valamit, nyílegyenesen rohannak vissza a fészkekhez. Erre azért képesek, mert bolyongásuk közben folytonosan összegzik elmozdulásuk vektorait, azaz minden pillanatban tudják, hogy éppen milyen irányú a fészkek nyílására vonatkozó helyvektoruk. Ehhez a kétdimenziós vektorösszegzéshez a viszonyítási irányt a Nap, illetve annak hiányában a szoláris meridiánnak az égbolt polarizációjából kikövetkeztetett iránya adja.

Az égbolt kiterjedt és feltűnő polarizációs mintázata tehát minden olyan esetben egyértelmű viszonyítási irányt





2. ÁBRA. A. AZ ÉGBOLTFÉNY INTENZITÁSÁNAK ÉS SZÍNÉNEK MINTÁZATA AZ ÉGBOLT KILENC KÜLÖNBÖZŐ ABLAKÁBAN NAPLEMENTEKOR. A FELVÉTELEK 1996. AUGUSZTUS 9-ÉN, HELYI IDŐ SZERINT PONTOSAN 19 ÓRÁKOR KÉSZÜLTEK A TUNÉZIAI MAHARÉS VÁROS TENGERPARTJÁN. A NAP ÉS AZ ANTI-NAP HELYÉT FEHÉR PONTOK JELÖLIK. AZ AS-10 ÉS AZ S-10 MINTÁZATBAN A SÖTÉT SÁV A TENGERPARTNAK FELEL MEG. A KAMERA NAGY LÁTÓSZÖGE MIATT A SZOMSZÉDOS MINTÁZATOK RÉSZBEN ÁTFEDIK EGYMÁST. B. HASONLÓ, MINT AZ A ÁBRA, DE MOST AZ ÉGBOLTFÉNY D POLARIZÁCIÓFOKÁRA A SZÍNKÉP ZÖLD ( $\lambda = 600$  NANOMÉTER) TARTOMÁNYÁBAN. A BAL FELSŐ SZÜRKE SKÁLA D SZÍNKÓDJÁT MUTATJA (FEHÉR:  $D = 0$  SZÁZALÉK, FEKETE:  $D = 100$  SZÁZALÉK). C. OLYAN, MINT AZ A ÁBRA, DE A HELYI MERIDIÁNTÓL MÉRT LAMBDA POLARIZÁCIÓS IRÁNYBA MUTAT. AZ ARAGO-, ILLETVE A BABINET-FÉLE NEUTRÁLIS PONT HELYÉT KÉK PONTOK JELÖLIK AZ AS-10, AS-20, ILLETVE AZ S-10, S-20 MINTÁZATON. A BAL FELSŐ SZÍNTÁRCSA SZÍNKÓDJÁT MUTATJA. MINÉL SÖTÉTEBB A VÖRÖS/SÁRGA, ILLETVE A ZÖLD-IBOLYA SZÍN, ANNÁL JOBBAN ELTÉR HELYI MERIDIÁNTÓL, ILLETVE A VÍZSZINTESTŐL. SÁRGA:  $0^\circ \leq \alpha < 45^\circ$ ; IBOLYA:  $45^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ ; ZÖLD:  $90^\circ \leq \alpha < 135^\circ$ ; VÖRÖS:  $135^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ .

nyújt a polarizációra érzékeny látórendszerű állatok számára, amikor híján vannak más vizuális jeleknek. A tengerek és óceánok homogén, kitüntetett pontok nélküli víztömegében vándorló halak (például a lazacok, a pisztrángok) vagy az ősszel és tavasszal más égtájak felé vonuló madarak szintén az égbolt polarizációját használják orientációra. Legalábbis olyankor, amikor a Napot vagy a csillagokat felhő vagy köd takarja, valamint közvetlenül naplemente után vagy napkelte előtt.

HORVÁTH GÁBOR, RÜDIGER WEHNER,  
GÁL JÓZSEF, POMOZI ISTVÁN  
(ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest;  
Zürichi Egyetem, Állattani Intézet, Svájc)

Kutatómunkánkat a magyar Országos Tudományos Kutatási Alap (F-014923, T-020931 pályázatait tették lehetővé.) és a svájci Nemzeti Tudományos Alap (31-43317.95) pályázatai támogatták.