

A polarizált fény és az élővilág

Bölcsőtől a sírig

Ahol sima víztükröt, kék eget vagy sírkövet látunk, ott más élőlények még valami egészen mást is.



GIGANTIKUS ROVARCSAPDA

■ Az elmúlt évszázadokban fizikusok sora tisztázta a fény terjedésének, törésének és visszaverődésének törvényszerűségeit, s tárta fel a fény polarizációjának titkait. A 17. században többen is leírták, hogy bizonyos ásványokon át nézve a tárgyaknak kettős képük van. A holland Huygens, a modern fénytan megalapozója is észlelte, hogy az ilyen kristályokban kétféle módon tör meg és terjed tovább a fény: normális és „rendellenes” sugárként. Ő úgy feltételezte, hogy az utóbbinál a kristályon belül irányonként is változik a terjedési sebesség. Newton és a newtoniánus utókor a fény részecskeelmélete alapján próbálta magyarázni a jelenséget, így tett a francia Étienne Louis Malus (1775–1812)

is, akitől a polarizáció kifejezés is származik: Newton az általa elképzelt hipotetikus fényrészecskéket pólusokkal ruházta fel, ezek megfordulását feltételezte Malus is. A francia tudós alapos kutatásai azonban éppen a fény végül győztesnek bizonyuló hullámelméletének ágyaztak meg – ezt a modern, kvantumfizikai korban teljesítette ki az elektromágneses sugárzás kettős, hullám/részecske természetének tana.

Polár, viking

A fény hullámelmélete szerint mind a látható fény, mind az elektromágneses sugárzás más frekvenciatartományába tartozó, számunkra láthatatlan komponen-

sei úgynevezett transzverzális térhullámok formájában terjednek: ilyenkor a fény a terjedés irányára merőlegesen végez rezgéseket. A polarizálatlan fény erre a terjedési irányra merőlegesen mindenféle irányban rezeghet, a teljesen polarizált fény azonban csupán egyetlen irányban, a részlegesen polarizált fényenél pedig egy többékevésbé elnyúlt, az elektromos térerősség vektorcsúcsai által leírt ellipszis mentén „rezeg”. Egy üveghasáb csupán bizonyos rezgésirányú fényhullámokat tükröz vissza, az erre merőleges irányukat pedig megtörve átengedi, ennek megfelelően mind az átengedett, mind a visszavert komponens síkban polarizálttá válik, és rezgésirányuk is merőleges egymásra.

A polarizáció mértéke akkor lesz maximális, ha a megtört és a visszavert fénysugár egymással bezárt szöge merőleges. David Brewster (1781–1868) skót fizikus 1815-ben tapasztalati úton bizonyította, de csak 1860-ban közölte, hogy ha a fény az ún. Brewster-szögben (melynek nagysága a levegő-víz határfelületen 53 fok a függőlegestől mérve) esik egy átlátszó közeg felületére, akkor a visszavert fény teljesen poláros, a megtört fénysugár pedig erre éppen merőleges.

Nem pusztán bizonyos ásványok, de a tükrök és tükröződő felületek, sőt bizonyos mértékig a vastag levegőréteg is komponensekre bontja az addig homogénnek tűnő fényt. A polarizáció ad magyarázatot arra az amúgy nehezen értelmezhető tényre is, hogy az átlátszó anyagok felületére érkező fénynek csak egy része hatol át – más része viszont visszaverődik róluk. S bizony így viselkednek a jelentős, nagy vízfelületek is, aminek éppen a fénypolarizáció biológiai szerepe miatt lesz jelentősége.

Már a 19. században, Jean-Baptiste Biot 1815-ös felfedezése nyomán kiderült, hogy némely szerves vegyületek oldatai elforgatják a fény úgynevezett polarizációs síkját: ezen alapszik a biokémiai szempontból kulcsfontosságú úgynevezett optikai izomeria felfedezése. Ugyanazon kémiai anyagok tipikusan egymás tükörképeként előálló izomerjei más és más irányban forgatják a polarizációs síkot. A természet ebből a szempontból néha aszimmetrikus: például az aszkorbinsavnak csak az L (azaz balra forgató) változata fordul elő az élő szervezetekben (ez a C-vitamin).

Az emberi szem számára nagyjából mindegy, hogy polarizálatlan, illetve ilyen vagy olyan irányban polarizált fényt látunk-e – de bizonyos segédeszközökkel mi is érzékelni tudjuk a különbséget. Elterjedt tudományos hiedelem szerint már a vikingek is kihasználták az égboltfény polarizációját az Atlanti-óceánon való hajózásaik során – legalább az előző ezredforduló körül. Navigációjuk alapvetően arra épült, hogy tudták, merre van a Nap az égen, ami remek dolog, amíg nem jön-

nek a felhők. Sajnos e kissé gyilkos természetű óészaki hajósok nem rendelkeztek iránytűvel, és így könnyen eltévedtek volna a nyílt vizeken, mikor a Nap a horizont alatt vagy felhők mögött lapult. (Az előbbi gyakorta előfordult, hiszen lakóhelyük és hajózási útvonaluk is közel feküdt a sarkkörhöz.) A vikingek viszont ismertek bizonyos, általuk napköveknek nevezett természetes kristályokat, például a kordieritet vagy a turmalint: ha egy ilyen ásványon át nézték az égboltot, és megfelelő módon forgatták ide-oda, akkor az égboltfény erőssége és színe a forgatás szerint váltakozott. Egy-egy ilyen kristállyal a kezükben a vikingek alaposan megfigyelték az égboltfény polarizációjának a szoláris meridiánra, az égboltnak a Napon és a zeniten átmenő főkörére tükröszimmetrikus eloszlását, aminek segítségével még akkor is képesek voltak meghatározni a Nap irányát, mikor az köd vagy felhők miatt nem volt látható, de az égbolt egy jó része igen. Teljesen borult időben sajnos ez a fajta navigáció sem működött.

Mint a példa is mutatja, még legfőbb fényforrásunk, a Nap fénye is polarizálódhat, miközben keresztülhalad a légkörön. A Föld gázburkát alkotó molekulákon a fény szóródik: nagy részét ezek az összetett részecskék elnyelik, és azonnal valamilyen új irányba sugározzák ki. A szóródás mértéke frekvenciafüggő, a frekvencia negyedik hatványával arányos. Kevésbé szóródik a hosszabb hullámhosszú, vörös fény, és jobban szóródik a rövid hullámhosszú, kék fény. Ezzel magyarázható az égbolt kék, valamint a napkelte és az alkony vörös színe. A polarizáció mértéke pedig egyszerre függ a napszaktól és a földrajzi iránytól.

A méhek is, a madarak is?

Számtalan rovar képes érzékelni összetett szemeivel a polarizált fényt, illetve a polarizáció mértékének változását. Például a méhek számára elengedhetetlenül fontos, hogy az éjszakát a kaptárban töltsék, ezért tudniuk kell, mikor induljanak haza, és merre találha-

tó lakhelyük. Ezt az információt „kódolja” számukra a fény polarizációja. A tudomány külön szakki-fejezést is kiöltött az élőlények polarizált fényvel való navigációjára – ez a polarotaxis: ennek vizsgálataiban magyar kutatók is úttörő jelentőségű eredményeket értek el.

A sima vízfelületről többnyire vízszintes irányban poláros fény tükröződik. A víztömegek a róluk visszaverődő fény vízszintes fénypolarizációja alapján a fénypolarizációra érzékeny állatok számára már távolról is jól felismerhetők – még akkor is, ha szagok, hőmérséklet vagy a pára alapján nem észlelhetők. Ha a vízi rovaroknak a fény intenzitása alapján kellene tájékozódniuk, könnyen pórul járhatnának, hiszen egy nagy fényvisszaverő képességű homokfelület vagy napsütötte földfelszín is hasonlóan fényesnek tűnhet, mint a vízfelület. Éppen ezért az evolúció során az állatok egy csoportja képessé vált a víz fénypolarizációján alapuló tájékozódásra: a vízi rovarok egy része a vízszintesen poláros fény segítségével jut el az életet adó vízhez. Mivel az ember

által háborítatlan természetben a földfelszínen túlnyomórészt csak a vízfelület „szolgál” poláros fényvisszaverődéssel, a rovarok ezt egyfajta iránytűként használhatják. (Egyes hipotézisek szerint némely madarak is mutathatnak polarotaktikus viselkedést.)

A jelenség a nyolcvanas évektől ismert Rudolf Schwind német biológus munkássága alapján: a polarotaktikus viselkedés során a vízhez kötött rovarok (vízibogarak, vízipoloskák, kérészek stb.) petéiket az így felismert vízbe rakják le.

Az embernek köszönhető polarizációs fényszennyezés és az így kialakuló ökológiai csapdák állatokra gyakorolt tragikus hatására szomorú bizonyítékot szolgáltatott az első Öböl-háború. A számtalan felrobbantott olajkút és vezeték mentén létrejött olajtavak meglepő módon tele voltak rovar- és madártejtemekkel. A polarizált fényt visszaverő, csillogó felületek mögött a rovarok (és talán az őket követő madarak is) életet adó vizet sejtettek, ám az olajtócsába repülve valamennyien életüket veszítették. Számukra az olajtócsa már csak azért is csalogatóbb lehetett a víznél, mert az olaj felületéről visszaverődő fény polarizáltságának foka nagyobb volt.

Néhány éve magyar kutatók (Malik Péter, Horváth Gábor, Kriszka György) figyelték meg azt is, hogy a temetőben a fekete sírkövek környékén a polarotaktikusan viselkedő, a vízszintesen poláros fényt felismerő szitakötők úgy viselkedtek, mintha vízfelület mellett tartózkodnának: itt párosodtak, és ide rakták petéiket, melyek azután tragikus módon kiszáradtak. A fekete, sima felület is polarizált fényt bocsát ki, és ez vezeti félre a rovarokat. Egy másik vizsgálat szerint a vérszívó bögyöket a sötét színű és gömbölyded felületek vonzzák. A kutatások során kiderült a polarotaxis egy új formája. Ilyenkor az organizmus nem feltétlenül a vízfelszínt keresi, hanem a sötétebb gazdaállatok bőrét: a sötét bőrű állatok ugyanis erősebben polarizált fényt tükröznek vissza, mint a világosabb bőrűek. Talán ezzel lehet összefüggésben a zebrák csíkos bőre is: az evolúció során ezt az optikai védelmet fejlesztették ki a vérszívó agresszorok ellen.

Barotányi Zoltán

GYÓGYÍTÓ FÉNY?

A polarizált fény felhasználásának egyik egzotikus, habár egyesek által még mindig vitatott formája a gyógyító lámpa, illetve a fényágy-technológia, melyet egy magyar feltalálónak, Fenyő Mártának köszönhet a világ. A manapság egy nagy svájci cég, a Zepter (melynek magyarországi fiáléját a Gazdasági Versenyhivatal két éve, pont a Bioptonnal kapcsolatos, a vevőket félretájékoztató hírverése miatt büntette 8 millió forint) által gyártott és forgalmazott, már eddig milliószámán értékesített Biopton (eredetileg Evolite) lámpa, valamint a később kifejlesztett különleges fényágy (Sensolite) Fenyő Márta (jórészt saját erőből folytatott) kutatásai szerint széleskörűen gyógyító hatásúak. Utóbbi esetében LED fényforrások speciális, polarizáló fólián áthaladó fényéből keletkezik a lineárisan polarizált sugárzás. A lapunknak nyilatkozó feltaláló a terápia első (még a felfedezés korai szakaszában, a nyolcvanas években elért) sikerei között emlegeti, hogy a bőr alá 1 centiméterre behatoló, a kapillárisokat elérő polarizált (látható, illetve közeli infravörös tartományba eső) fény gyógyírt jelentett a nagyon nehezen javuló lábszárfekélyekre is. Az ezekből vett minta részletes immunológiai vizsgálata a polarizált fény serkentő hatását mutatta ki – mind az alakos (sejtes) elemekhez, mind a szövetnedvekhez köthető (humorális) immunválasz terén. Egy másik (ún. in vitro, azaz laborban, Petri-csészében, sejtszinten folyta-

tott) vizsgálat során kimutatták (majd eredményüket névszakszaki folyóiratban publikálták), hogy a polarizált fény aktivizálta a T-limfocitákat a dagana- to sejtvonalakkal szemben. Ezzel szemben a minden vonatkozásban ugyanolyan paraméterekkel bíró, de nem polarizált fény hatástalannak bizonyult (s az ún. kezeletlen kontroll sem mutatott változást). Egy további, az előbbiekhöz hasonlóan lefolytatott, szintén publikált vizsgálatban pedig fontos biokémiai folyamatokat sikerült serkenteni polarizált fényvel (szintén in vitro), melyek a gyulladásgátlásban játszanak szerepet.

Kritikusai a hatásosság igazolását, az efféle gyógyító módszereknél szokásos, placebóval kontrollált, randomizált, kettős vak vizsgálat eredményére volnának kíváncsiak – ám ez egyelőre bizony hiányzik. Fenyő Márta a kezdet kezdetén, még a 80-as évek legelején maga is felállított egy hangsúlyozottan hipotetikus biofizikai modellt (mely szerint a sejtmembrán kismérvű konformációs változása következik be a polarizált fény hatására – míg polarizálatlan fényben mindez nem tapasztalható), ám ennek verifikációjára – többek között szintén idő és pénz híján – nem került sor. Kár, hogy emiatt a megannyi pozitív visszajelzést, a gyakorta és sokak által emlegetett kedvező tapasztalatokat sem lehet egyértelműen alátámasztani a polarizált fény valamiféle igazolt, jól levezethető elméleti hatásmechanizmusával.