

lett fontos szerepe van a sokszor mellőzött szóbeli számonkérésnek, de a gyakorlati készségek (kompetenciák) mérésének is.

Fogalomrendszerünkben a fizika tanítása általában az iskolai osztályteremhez és a tanórához kötődik. Kétségtelenül ez a tipikus, így annál meglepőbb, és a diákok számára szemléletformáló, ha a fizikai problémákkal nem csupán a fizika szakteremben foglalkozunk, hanem kivisszük azt szokatlan helyszínekre, udvarra, játszótérre, a havas hegyoldalra, uszodába, osztálykirándulásra stb. A helyszínhez illeszkedő fizikai problémák felvetése, helyszíni kísérletek, mérések, majd a hozzájuk kapcsolódó kiértékelések, számítások (ez utóbbiak már az osztályban történhetnek, esetleg házi feladatként is kiadhatók) jól érzékeltetik a gyerekekkel, hogy a fizikában tanultak mindennapi élethelyzetekben is jól alkalmazhatók. A jegyzet befe-

jező fejezete ilyen iskolán kívüli, rendhagyó fizika-órákhoz ad ötleteket, beleértve a fizikai szempontból fontos és érdekes tanulmányi kirándulásokhoz ajánlott helyszíneket.

A fentiekben igyekeztem bemutatni a sokunk által már régóta hiányolt jegyzet közelmúltban elkészült első kötetét. Természetesen tudom, hogy semmilyen ismertetés sem tudja helyettesíteni a saját tapasztalatokat. Jó szívvel ajánlom minden fizikatanár kollégának, hogy a jegyzetet maga is töltsse le, nézzen bele, „kattintgasson benne”, majd kezdje el mindennapi munkájában is használni, gondolatébresztőként, referenciaként, ötletforrásként. Remélem, az első részt hamarosan követik a fizika további fejezeteit hasonló szelvényben feldolgozó kötetek is, hatékony segítséget adva munkánkhoz.

Jávor Márta

Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György: A POLÁROS FÉNY KÖRNYEZETOPTIKAI ÉS BIOLÓGIAI VONATKOZÁSAI ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2016, 485 oldal

A tankönyv, lévén a benne található tudásanyag gondosan felépített és jól követhető, mindenek előtt témakörönként rendezett munkanapló, hiszen a mondanivaló minden fejezetben saját kutatásokhoz és eredményekhez kapcsolódik. A poláros fényről a ket-tősen törő kristály, a látványosan indokolható Brewster-törvény és a valóban térhatású 3D filmek ugranak be. Ha nagyon igyekszem, előkerülnek bonyolult összefüggések a törés és visszaverődés intenzitásvi-szonyairól, de inkább csak úgy, hogy tudom, melyik könyvet, hol kell kinyitnom hozzájuk. Ezek után nagy élmény találkozni egy négy és félszáz oldalas könyvvel a poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásairól. Nincs szükség előzetes felkészülésre, csak elszánt odafigyelésre.

A polarizációsög (-irány) és a polarizációfok segítségével jól jellemezhető egy fénysugár lineáris polarizációs állapota: „Ha egy adott hullámhosszúságú fényben az elektromágneses rezgés egyetlen irányban történik, akkor teljesen lineárisan poláros fényről beszélünk, a rezgéssík irányát pedig polarizációiránynak nevezzük. Ekkor a lineáris polarizációfok $d = 100\%$.” (16. oldal)

Az égbolt (egy adott helyen és adott időben) ezekkel az egyszerű jellemzőkkel ábrázolt polarizációs mintázatának átlátása, jelentésének megértése azonban odafigyelést, magasabb szinten jártasságot igényel. A jártasság megszerzésére a könyv olvasása során mind több lehetőségünk adódik, hiszen mint utá-

zónak a térképek, a poláros környezetoptikát tanulmányozóknak a polarizációs minták bemutatása adja a pontos fogalmazás lehetőségét.

Megtudjuk, hogy miképpen alakult ki a kezdeti nehézkes mérésekből a mai, halszemoptikával ellátott, lineáris polárszűrővel felszerelt digitális fényképezőgép adatainak számítógépes feldolgozása. Az optika történetére is kellő hangsúly kerül, hiszen a polarizációs jelenségek értelmezése során alakult ki a fény, mint transzverzális elektromágneses hullám képe.

Az égboltfény polarizációját *François Arago* francia fizikus, csillagász fedezte fel és vizsgálta a 19. században és azt találta, hogy „... az égboltnak a Nappal átellenes oldalán lévő antinap felett, az antiszoláris meridián egy pontjában a polarizációfok zérus, vagyis az innen jövő fény polarizálatlan, azaz semleges (neutrális)”. (33. oldal)

A 19. század közepéig még további két neutrális pontot, a Babinet- és Brewster-pontokat sikerült megtalálni. Csak a 20. század végén, elsősorban magyar kutatók mérései mutatták ki a korábban megjósolt negyedik neutrális pont létezését, amely polarizálatlan pontot azonban csak kilométerekkel a földfelszín fölé emelkedve lehet mérésrel megtalálni. Valóban, 2001-ben több sikeres felszállás után magyar kutatók írhatták le: „Összefoglalásul megállapíthattuk, hogy hőlégballonos polarometriai méréseinkkel a világon elsőnek sikerült kísérletileg bizonyítanunk a 4. neutrális pont létét.” (53. oldal)

Az égbolt polarizációs mintázatának ismerete nem öncél, számos állatnak ez jelenti a tájékozódási lehetőségét, ezért a különböző fokú felhőzöttség hatásának ismerete a polarizációs viszonyokra alapvető fontosságú. Magát a felhőzöttséget is minősíteni és mérni kell, ez is megfelelő teret kap a könyvben. Vannak éjszaka vadászó és repülő állatok, amelyek a különböző holdfázisok idején a polarizációs minták szerint tájékozódnak, ezért az éjszakai égboltot is meg kell ismerni. Különleges mérési-modellezési feladat a teljes napfogyatkozáskori égbolt-polarizáció felderítése. A mérések szerint ilyenkor csak a totalitás (a 98%-ot meghaladó naptakarás) néhány percig tartó ideje alatt válik felismerhetetlenné az ég addig keveset változó polarizációs mintázata. Ezen idő rövidsége segítheti az irányt vesztett állat túlélését, bár a házimehek éppen ilyenkor tévedhetnek el és zömük nem ér vissza a kaptárba, a méhészek bánatára.

Számos, fénypolarizáció alapján tájékozódó élőlény szempontjából fontos a vízfelszín polarizációja. A leginkább szembetűnő különbség a sekély és világos, valamint a sötét és mély vizek polarizációs mintázatai között adódik. Ennek részletezése a következő fejezetekre, a fénypolarizáció érzékelésének tárgyalása utánra marad.

Ugyan az állatvilágban elég széles körben van szerepe a poláros fénynek, a könyvben ismertetett kutatások túlnyomóan a fény polarizációjára érzékeny rovarokkal foglalkoznak. Ennek megfelelően a rovarok összetett szemének különböző modelljeivel találkozunk. Ezek a modellek remekül szemléltetik a rovarok látásmechanizmusát. A látópigment-molekulák párhuzamos állása a receptorsejtek mikrobolyhainak hossz tengelyével szemléletes kapcsolatban van a poláros fény rezgési síkjával.

A könyv harmadánál eljutottunk oda, hogy az olvasók a polarizációfok és polarizációs szög eloszlásával jellemzett polarizációs mintázatokban kiismerik magukat. A fény polarizációs állapotára érzékeny rovarszemek működése sem ismeretlen. Jöhetnek tehát a polarizált fény észlelése által motivált viselkedés következményeit taglaló esettanulmányok. A szerzőknek és munkatársaiknak bő húszévi munkájáról szólnak a könyv fejezetei. Az egyes témák kifejtése során a szerzők lekötik figyelmünket a biológiai mondani-valóval, de érdemes odafigyelni, hogyan alakult ki a történet. A tiszavirág mindenki számára a gyorsan ellobbanó életet jelképezi, és esetleg még arról is hallottunk, hogy erős fényű lámpákkal meg lehet zavarni a folyó feletti rajzását. *A tiszavirág fénypolarizáció alapú vízdetekciója* című alfejezetben fóliás kísérletek sorozatáról olvashatunk, amelyek alátámasztják a régebbi tapasztalatot, hogy „a tiszavirág rajzásakor két viselkedésforma (vízkövető és vízkereső repülés) jellemző, melyek kiváltásában az erősen és vízszintesen poláros, megfelelően nagy kiterjedésű vízfelület megléte vagy hiánya jelenti a kulcsingert”. (147. oldal) Örvendetes, hogy az utóbbi években a Duna bizonyos szakaszain ismét megfigyelhető a dunavirágok rajzása. Ennek, a tiszavirágnál kisebb termetű, a

könyv borítóján is látható kérszfajnak tömegeit vonzák magukhoz az erősfényű fényforrások.

Kiterjedt vizsgálatok mutatták ki, hogy a fényforrások bizonyos elhelyezkedésénél a vonzó hatás csupán a forrás intenzitásán múlik, míg egyéb helyzetekben a fény vízszintes polarizációja a vonzó hatás kulcsa. A poláros fényhez vonzódó rovarok nem tesznek különbséget aközött, hogy a poláros fényt az életfeltételeket jelentő vízfelület vagy olajfolt, netán egy kivilágított híd szolgáltatja. A poláros fényszennyezés elkerüléséhez nélkülözhetetlen adat az egyes fajokra jellemző d^* polarizációs ingerküszöb, ami „...a d lineáris polarizációfok azon minimális értékét jelenti, ami még képes pozitív polarotaxist kiváltani”. (172. oldal) Ennek a megállapítása különböző színű folyadékcsapdák – különböző polarizációfokú, vízszintesen poláros fényt tükröző étolajtálcák – segítségével történt, a befogott rovarok számának összehasonlításával.

A könyv csaknem felét kitevő 3. fejezet a poláros fényszennyezéssel és a poláros ökológiai csapdákkal foglalkozik. A kuwaiti kőolajtavak és a budapesti parkurató csapdájaiba került rengeteg rovar és madár végzetes sorsáért is elsősorban a vizet kereső állatok vízszintesen poláros fényre érzékeny látása felelős. A természetben a vízszintesen poláros fény biztonsággal vezet vízfelülethez, és még az összetettebb helyzetérzékelésre képes madarak is megtévednek a tikkasztó sivatagi környezetben, bár az ő polarizációalapú vízdetekciójuk még nincsen bizonyítva vagy cáfolva. Nagy felületű sötét és világos fóliákkal végzett kísérletek segítségével mutatták ki a polarotaktikus rovarok csapdába esésének folyamatát, időbeli lefolyását.

A vízhez kötött életformájú szitakötők számára ökológiai csapdának bizonyultak a fényes fekete sírkövek is. A fényes fekete felületek polarizációs mintázata a mérések szerint a vízfelszínét idézi, és a szitakötők itt rakják le petéiket, amelyek hamar elpusztulnak. (Részben e kutatási eredmény kapta a 2016. évi fizikai IgNobel-díjat.) Ugyanígy poláros fényszennyezőknek bizonyultak a piros és fekete autók, amelyek parkolás közben is vízirovarok tömkelegét csábíthatják magukhoz. Megvizsgálták fehér, fekete, sárga és piros autók motorháztetejének polarizációfokát, és valóban csaknem tízszeres eltérés adódott a fekete és a piros javára. Érdekes, hogy a piros színt a vízirovarok nem látják, a spektrum zöld, kék és UV tartományában azonban a piros felületek fénypolarizációs mintázatai gyakorlatilag olyanok, mint a feketéké.

A manapság terjedő autódívat, a matt fekete és matt szürke bevonatok alkalmazása azt a reményt keltette, hogy az autókrosszériák vízirovarokat vonzó hatása jelentősen csökkenni fog. A részletes vizsgálatok és összehasonlító terepkísérletek számos különbségre mutattak rá a fényes/matt – fekete/szürke felületek polarizációs tulajdonságaiban, de a jelentős vonzó hatás minden esetben jelen volt.

A Duna-parti magas épületek lakói évek óta találkoznak tavaszi alkonyatkor a tömegtegzés rovarok rajzásával, az ablakok mellett összegyűlő rovar tetemekkel. A Duna-lakó tegzesfaj nevéből láthatóan tö-

mege, azonban nem közismert. Rajzások a magas üvegépületek körül kikerülhetetlen kutatási témának bizonyult, hiszen az ELTE Természettudományi Kara is magas Duna-parti üvegépület lakója. Részletes kutatómunka bizonyítja, hogy a tömegtegzés rajzása az üvegfalak vonzásában elsősorban a vízirovarok polarotaxisának következménye. A vízirovarok polarizációs ökológiai csapdájaként működő városi üvegépületek poláros fényszennyezésének csökkentésére nyolc pontból álló ajánlás zárja a fejezetet.

A könyvben eddig a polarizációs ökológiai csapdák elkerülése és a veszélyeztetett állatok védelme volt a cél. A bögyölyök polarotaxisát csípésük elkerülésére lenne érdemes kihasználni, amely csípés (harapás) nemcsak fájdalmas, de fertőzésveszéllyel is jár. Részletes vizsgálatokkal mutatták ki, hogy a potenciális áldozatok közül „a bögyölyök számára az a legvonzóbb, aminek felületéről visszavert fény vízszintesen poláros és polarizációfoka a legnagyobb”. (342. oldal) Így a bögyölyök kevésbé vonzódnak a világos, mint a sötét szőrű emlősökhöz. Mindezek alapján az a 2016-os fizikai IgNobel-díjjal jutalmazott hasznos tanács adható a barna vagy fekete szőrű lovak gazdáinak, hogy takarják le állataikat fehér vászonnal. Annál érdekesebb a zebrák által megvalósított trükk, a keskeny fekete-fehér csíkos zebraszőr. A bögyölytámadások száma ugyanis nem a fekete és fehér szőrű lovak elleni támadások között helyezkedik el valahol középen, hanem kisebb a fehérenél is.

Magától értetődően adódtak a terepkísérletek a polarotaktikus bögyölyök harapásainak száma és a testfelület foltossága közötti kapcsolat kiderítésére. A bögyölyök polarotaktikus viselkedésével kapcsolatos ismeretek felhalmozódása elvezetett az új típusú, fénypolarizációs elven működő bögyölycsapdák kialakításáig, és valóban kreatív megoldások születtek. Azonban az összefoglaló tanulságot nem lehet elkerülni: „A napelemes bögyölycsapda piaci bevezetésének lehetőségét még tanulmányozni kell.” (392. oldal)

A zárszó előtti utolsó fejezet kultúrtörténeti ajándék a széles körben érdeklődő olvasók számára: *Az égbolt polarizációs viking navigáció hipotézise és kísérleti vizsgálata*. A vikingekről, tengeri kalandozásaikról, mágneses iránytű nélküli tájékozódásukról sokat megtudunk. A nap-iránytű használata sem volt egyszerű, de borult időben a Nap helyzetének megállapítására nem volt megbízható módszer. Felmerült, hogy az égbolt felhős, borús időben is megőrződő polarizációs mintázata lehetett a megoldás, amit napkőnek nevezett turmalin vagy kalcitkristályok forgatásával vizsgálhattak. A felmerült hipotézist részletes vizsgálat nélkül, a viking sagákban napkövekre tett utalások alapján elfogadták és ötven éve tényként kezelik. A szerzők és munkatársaik mai eszközökkel a viking navigáció meteorológiai és légköroptikai feltételeit vizsgálták, terepi pszichofizikai vizsgálatokat végeztek, a navigáció egyes lépéseit laboratóriumban ellenőrizték. Ezek a kutatások napjainkban is folynak.

A *Zárszó* tanmese formájában foglalja össze az eddig elmondottakat. *Darwin* vicces Mikulás-figurája képviseli az evolúciót, akitől kérni kell a valóságban hosszú idő alatt kialakult tulajdonságokat: Darwin poláros tanácsokkal látja el a látásával elégedetlen méhet; becsíkozta a zeb-rát a vérszívó bögyölyök ellen, bölcs tanácsadóként foglalja össze a könyv esettanulmányait. Darwin nem terepműtő, csak tudós tanácsadó, és távolról sem mindenható: „Darwin sajnos nem tudta orvosolni a viking azon jogos panaszát, hogy felhős, ködös időben, amikor a Nap nem látszik, gyakran annyira lecsökken az égboltfény polarizációfoka, hogy a Haidinger-pamacs nem észlelhető. Ilyenkor tehát a viking nagy eséllyel eltévedt a tengeren.” (451. oldal)

Maga a könyv sem tökéletes, csak nagyon jó. Rendkívül sok mindenről szól magas színvonalon, közérthetően. De nincs tárgymutatója, sem névmutatója, így aki tárgyszó vagy név alapján érdeklődne, az nagy eséllyel eltéved a szöveg dzsungelében.

Füstöss László



Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: elft@elft.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszté az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyezményen.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588-0540 (online)