

RÉSZLET

Horváth Gábor

Környezetoptika Laboratórium,
Biológiai Fizika Tanszék,
Fizikai Intézet, Természettudományi Kar,
Eötvös Loránd Tudományegyetem

EGYETEMI TANÁRI PÁLYÁZATÁBÓL

Budapest
2011. november 10.

Tartalomjegyzék

1. KUTATÁSI EREDMÉNYEK (1998-2011).....	2
1.1. A fénypolarizáció érzékelése	2
1.2. Poláros fényszennyezés és annak csökkentése	5
1.3. Környezetünk polarizációs mintázatai és képalkotó polarimetriai mérések	7
1.4. Égboltpolarimetriai viking-navigáció.....	11
1.5. A kihalt trilobiták látórendszerének paleo-biooptikai rekonstrukciója.....	12
1.6. Biooptika: vizuális környezetünk optikai sajátosságai	12
1.7. Biomechanika: sport-, csont- és járásmechanika	13
1.8. Hivatkozott irodalom.....	14
2. INNOVÁCIÓ	19
2.1. Polarizációs bögölycsapdák.....	19
2.2. Poláros fényszennyezés csökkentése depolarizáló rácshatással.....	19
2.3. A múlt hírességeinek háromdimenziós megjelenítése.....	21
2.4. Az ELTE 2010. évi Innovatív Kutatói Díja	21
2.5. Nagylátószögű, polarizációs felhődetektor	22
2.6. Napelemes bögölycsapdák.....	23
2.7. Az innovációs tevékenység méltatása	24
3. TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTÉS	25
3.1. <i>Élet és Tudomány</i>	25
3.2. <i>Természet Világa</i>	25
3.3. <i>Fizikai Szemle</i>	25
3.4. Az <i>Élet és Tudomány</i> beli ismeretterjesztői tevékenység méltatása	26
3.5. A <i>Természet Világ</i> abeli ismeretterjesztői tevékenység méltatása	27
3.6. A <i>Fizikai Szemle</i> beli ismeretterjesztői tevékenység méltatása	28
4. PUBLIKÁCIÓS AKTIVITÁS	29

1. KUTATÁSI EREDMÉNYEK (1998-2011)

1.1. A fénypolarizáció érzékelése

- **Polarizáció keltette hamis színek polarizáció-érzékeny színlátó-rendszerekben [A-55, A-64, A-63]**: Képkalkotó polarimetriával mértük növényi felületek polarizációs sajátosságait, majd számítógépes modellezéssel kiszámítottuk, hogy e növényi felületek színe hol helyezkedik el a színháromszögben polarizációra érzéketlen, illetve arra érzékeny retina esetén. Azt kaptuk, hogy a növényi felületekről jövő poláros fény egészen más színűnek tűnik egy polarizáció-érzékeny szem számára. Egy polarizáció- és színérzékeny szem ezért tehát hamis színekben látja a vizuális környezetét poláros régióit. Kimutattuk, hogy a növényi felületek polarizációs mintázata erősen változik a nézési iránytól függően, ami a polarizáció-érzékeny szem észlelte hamis színek mintázatát is drasztikusan befolyásolja. Ezért egy ilyen szemű rovarnak a hamis színekben tobzódó, nézési iránytól függő, repülés közben folytonosan változó, tiri-tarka háttérből kellene kiválasztania a számára fontos színű virágokat. Ez nem lehetetlen, de igen nehéz feladat, ami nagyon fejlett agyat igényelne. A természet az evolúció során e problémát a szóban forgó rovarok szemében azzal a trükkkel oldotta meg, hogy a növényeket figyelő, előre és lefelé néző ommatidiumokban a látópigmenteket tartalmazó nanocsövek egymáshoz képest csigalépcsőszerű megtekeredése által eltűnt a polarizáció-érzékenység, miáltal kiküszöbölődtek a poláros fény keltette hamis színek. Az égboltot figyelő ommatidiumokban viszont, ahol a fény rezgéssíkja a fontos információ, meghagyta a természet a polarizáció-érzékenységet, de nem vezette be a színlátást, hiszen itt csak egyforma típusú (UV, kék vagy zöld) fotoreceptorok fordulnak elő. Egyes lepkék szín- és polarizáció-érzékeny szemében nincsenek eltekerve az egymással párhuzamos nanocsövek, ezért e lepkék érzékelik a polarizáció által keltett hamis színeket. E jelenség befolyásolja e lepkék színvezérelte peterakóhely-választási viselkedését. Polarimetriai mérésekkel és számítógépes modellezéssel kvantitatíven vizsgáltuk, hogy miként függenek e lepkék által érzékelt növényi hamis színek a fotoreceptorok polarizáció-érzékenységétől, a nézési iránytól, a fejtartástól, a fotoreceptorokbeli nanocsövek irányától, a megvilágítási viszonyoktól és a növényi felületek spektrális és tükröződési-polarizációs tulajdonságaitól. Eredményeink segítettek megérteni a szóban forgó lepkék azon viselkedését, amit a növényekről visszavert fény színe és polarizációja szabályoz. Egyik cikkünkben kijavítottunk a polarizációs hamis színek elméletében néhány elterjedt hibát és tévedést. Megmutattuk továbbá, hogy e polarizáció keltette hamis színeket érzékelő látórendszerek képesek lennének különbséget tenni a sima és a matt növényfelületek között, de képtelenek lennének e felületek irányának meghatározására pusztán a színek alapján.
- **A polarizáció-érzékelés optimális spektrális tartományai [A-62, A-70]**: (i) Léggöroptikailag meglepő, hogy sok rovarfaj a térbeli tájékozódásra használt poláros égboltfényt az ultraibolya (UV) tartományban érzékeli, hiszen az égboltfénynek mind az intenzitása, mind pedig a polarizációfoka lényegesen kisebb UV-ben, mint kékben vagy zöldben. E jelenség a polarizáció-látás UV-paradoxona, amit egy egyszerű léggöroptikai modell felhasználásával sikerült föloldanunk. Megmutattuk, hogy ha a felhő és a földi megfigyelő közti légréteget a közvetlen napfény részlegesen megvilágítja, akkor a felhős égboltterület irányából érkező fény p polarizációfoka UV-ben a legnagyobb, mert az UV-szegény polarizálatlan felhőfény az UV-ben csökkenti a legkevésbé a felhő alatti légrétegben szóródott napfény polarizációfokát. Hasonlóan, a zöld lombozaton átszűrődő égboltfény polarizációfoka is az UV-ben a legnagyobb, mert a lombozat polarizálatlan UV-szegény zöld fénye az UV-ben csökkenti a legkisebb mértékben a lombozat alatt szóródott napfény polarizációfokát. Emiatt a felhők, illetve a lombok irányából jövő fény polarizációja

leghatékonyabban az UV-ben érzékelhető, mely spektrális tartományban legnagyobb az esély arra, hogy a fény polarizációfoka nagyobb a polarizáció-érzékelés p^* küszöbértékénél. Ugyanakkor felhők hiányában az égbolt-polarizáció érzékelésének nincs optimális hullámhossza: a megfigyelő szemébe jutó fény polarizációfoka nemcsak az UV-ben, hanem a teljes látható tartományban is meghaladja a p^* érzékelési küszöböt. (ii) Egy másik megoldatlan probléma volt, hogy a cserebogarak (*Melolontha melolontha*) polarizáció-látása miért a spektrum zöld (520 nm) tartományában működik. Légekóoptikai és receptor-fiziológiai számításokkal, valamint számítógépes modellezéssel megmagyaráztuk, hogy az alkonyatkor az erdők szélén rajzó cserebogaraknak miért a hosszabb (zöld) hullámhosszakon érdemes érzékelniük a lemenő Nap fénye által megvilágított zöld falombokról visszaverődő fény polarizációját. Megmutattuk, hogy a napnyugtakor aktív cserebogarak polarizációt érzékelő fotoreceptorainak színérzékenysége a felülről jövő lombfény nagy poláros intenzitására (a fényintenzitás és a polarizációfok szorzatára) hangolódott a spektrum zöld részében. Rámutattunk, hogy ezen optimális kompromisszummal e bogarak elérik, hogy naplementekor a lombok alatt még elég fény érje a polarizáció-érzékeny receptoraikat, ugyanakkor a polarizáció-látásuk alapját jelentő foton számkülönbség (a két, egymásra merőleges polarizáció-irányra érzékeny receptortípus által elnyelt fotonok száma közti, hullámhosszfüggő különbség) is a lehető legnagyobb legyen. Azt is megmagyaráztuk, hogy e zöldérzékeny receptoraikkal rajzásuk előtt a kék égbolt alatt röpködő cserebogarak miként képesek hatékonyan érzékelni az égboltfény polarizációját napnyugta előtt.

- **Mely napszakban érdemes vizet keresnie a polarizáció alapján a vízirovaroknak? A vízdetekció polarizációs napórája [A-61, A-73]:** 180° látószögű képalkotó polarimetriával mértük vízfelületek tükröződési-polarizációs mintázatát a Nap állásának függvényében, és meghatározzuk a vízfelület azon Q hányadát, amit a polarotaktikus vízirovarok a polarizáció alapján víznek vélnek. Kiderült, hogy úgy a sötét, mint a világos vizek esetén Q naplementekor és napkeltekor maximális, vagyis mikor a Nap a horizont közelében tartózkodik. A sötét vizeknél Q -nak délben ugyancsak maxima van, azaz mikor a Nap horizonttól mért szögtávolsága a legnagyobb. Ezért a polarizáció alapján történő vízkeresés optimális időszaka alacsony napállás mellett van, míg a sötét vizeket a dél körüli magas napállások mellett is érdemes polarotaktikusan keresni. Terepkísérletekkel kimutattuk, hogy ezen biofizikai-optikai jóslatnak megfelelően a polarotaktikus vízirovarok tényleg reggel és/vagy délben és/vagy este kelnek szárnyra, hogy új vizeket keressenek a kiszáradófélben lévő vagy táplálék-, illetve oxigénhiányos vagy túlszűfolt régi vizek helyett. E jelenséget nevezzük a vízirovarok "polarizációs napórájának". Az evolúció során kifejlődött a vízirovarok azon képessége, hogy a polarizáció alapján többnyire akkor keresnek vizet, mikor az optikailag a leghatékonyabb, és mindezt a Nap állása szabályozza. A vízben tartózkodó vízirovarok nem érzékelhetik a levegő hőmérsékletét és páratartalmát, sem a szél sebességét, így ezek alapján képtelenek lennének megválasztani a vízkereső repülésükhöz megfelelő időszakot, mikor a léghőmérséklet, páratartalom és szélesebesség optimális. Viszont a Nap állása a fényintenzitás alapján észlelhető a vízben is, ami alapján jól érzékelhető az optikailag ideális vízkeresési napszak eljövételének ideje. A vízirovarok polarizációs napórájában közvetve az égbolt polarizációs mintázata játszik fontos szerepet, hiszen az égboltfénynek a polarizációt módosító vízfelszíni tükröződése eredményezi azt a vízfelszíni polarizációs mintázatot, aminek sajátosságai határozzák meg az erősen és közel vízszintesen polarizáló vízfelület arányának maximumát, végső soron pedig a polarotaktikus vízkeresés optimális napszakát.
- **A tiszavirág polarotaxisa [A-78]:** A Tiszán és Tisza-parton folytatott terepkísérletekkel megmutattuk, hogy a tiszavirág (*Palingenia longicauda*) is pozitív polarotaxissal rendelkezik. Habár e kérészfaj is vízirovar, eredményünk mégis meglepő, mert e fajnak

tulajdonképpen nem lenne szüksége polarotaktikus vízdetekcióra, mivel rajzásakor végig a folyó fölött röpköd, miáltal nem kell vizet keresnie. Eredményünk jól mutatja, mennyire fontos és ezért szilárdan rögzült a polarotaxis a vízhez kötődő rovarokban.

- **A böglyök polarotaxisa és gyakorlati alkalmazása [A-85, A-89]:** A szitakötők fekete sírkövekhez való vonzódásának vizsgálata során véletlenül fedeztem föl a böglyök pozitív polarotaxisát. Ez lett az alapja az új típusú, szabadalmi oltalommal is védett polarizációs böglyocsapdáinknak. Az *OTKA - Hónap kutatója* elismeréssel is jutalmazott ezen eredményünk jó példa arra, miként lehet egy tisztán alapkutatási eredményt fontos gyakorlati problémák hatékony megoldására is fölhasználni.
- **Szitakötők, kérészek és böglyök polarotaxisának érzékelési küszöbe [A-95]:** Terepkísérletekben mértük szitakötő-, kérész- és böglyőfajok polarotaxisának érzékelési küszöbét, vagyis hogy mekkora polarizációfokú vízszintes rezgésű fény váltja ki belőlük a vonzó hatást. E küszöbértékek ismerete a mesterséges tükrözőfelületek poláros fényszennyezési mértékének meghatározásához szükséges.
- **A sárgalázszúnyogok rejtett polarotaxisa [A-87, A-107]:** Laboratóriumi kísérletekkel kimutattuk, hogy a sárgalázszúnyog (*Aedes aegypti*) természetes körülmények között a peterakáshoz és a lárvái kifejlődéséhez szükséges víztesteket nem a vízfelületről tükröződő fény vízszintes polarizációja alapján találja meg, hanem szagok segítségével. Ugyanakkor laboratóriumi mesterséges környezetben mégis működik e szúnyogfaj pozitív polarotaxisra épülő vízkeresése, ha a szagokat folyamatosan elszívjuk a légtérből. A sárgalázszúnyog e rejtett polarotaxisa egyedülálló az állatvilágban, és arra utal, hogy a polarizáció alapú ősi vízdetekciót egy tartalék mechanizmusként még akkor is megtartják a vízhez kötődő rovarok, ha egy másik érzékszervükkel (például a szaglással) általában megbízhatóan képesek rálelni vízi életterükre.
- **A lovak fehérségének egy nem várt előnye: A leginkább böglyőálló ló depolarizáló fehér szőrű, a fekete ló pedig szenved a polarizáló szőrért [A-97]:** A böglyök számos egészségügyi és gazdasági problémát okoznak az embereknek és állatoknak egyaránt, mivel a nőtényeik betegségek kórokozói terjesztik, miközben a gerincesek vérért szívják. Terepkísérletekkel megmutattuk, hogy a csak gyengén fénypolarizáló fehér lovak kevésbé vonzzák a böglyöket, mint az erősen fénypolarizáló kültakarójú barna vagy fekete lovak. Azt is bizonyítottuk, hogy a böglyök a vérszívásra alkalmas gazdaállatot részben az annak testfelületéről visszavert poláros fény segítségével találják meg. A böglyök főként fekete és barna szőrű lovakhoz való vonzódása a pozitív polarotaxisukkal, vagyis a poláros fényhez való vonzódásukkal magyarázható. Habár kizárólag a böglyök és lovak közti vizuális kölcsönhatást vizsgáltuk, a jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeink érvényesek a polarotaktikus böglyök más gazdaállataira is. Eredményeinkről például a *Nature* is írt egy méltatást.
- **Árvaszúnyogok polarotaxisa [A-103]:** Terepkísérletekkel kimutattuk, hogy a vízhez kötődő árvaszúnyogok is pozitív polarotaxisal rendelkeznek. E viselkedésük teszi lehetővé új polarizációs csapdákkal való befogásukat tudományos vizsgálatuk céljából.
- **A foltosabb felületek kevésbé vonzzák a böglyöket: A szarvasmarhák tarkafoltos kültakarójának evolúciós előnye [A-108]:** Vérszívásuk közben a nőtény böglyök súlyos betegségek kórokozói vihetik át a haszonállatokba, továbbá annyira zaklathatják őket, hogy nem tudván legelni, a tej- és hústermelésük drasztikusan lecsökken. A kültakaró foltos mintázata igen elterjedt az emlősök körében, főleg a marhaféléknél. Rovarfogó ragasztóval bekent tehénmakkokat s egyéb testfelületeket alkalmazó terepkísérletekben a foltok méretének s nagyságának és a böglyőkre gyakorolt vonzóképeségnek a kapcsolatát vizsgáltuk. Olyan testfelületeket is használtunk, melyek csak a polarizációban mutattak foltos mintázatot, máskülönben pedig homogén sötétszürkék voltak. Képpalkotó polarimetriával mértük élő szarvasmarhák, foltos tehénbőrök és a kísérletben használt

tesztfelületek polarizációs mintázatait. Kimutattuk, hogy minél kisebbek és számosabbak a kültakaró foltjai, annál kevésbé vonzó a gazdaállat a böglyök számára, még akkor is, ha a foltok csak a polarizációban jelennek meg. Rámutattunk, hogy ez lehet az egyik oka annak, hogy a kültakaró foltos mintázatai az emlősök körében meglehetősen elterjedtek, különösen a patásoknál, amelyek többsége a polarotaktikus böglyök gazdaállatai közé tartozik.

- **Miért csíkos a zebra? [A-106]**: Habár a zebrák csíkos mintázatának kialakulására több magyarázat is létezik, ezeket kísérletileg még nem ellenőrizték. Terepkísérletekben vizsgáltuk zebracsíkos és homogén tesztfelületek és lómakettek böglyvonzó-képességét a csíkvastagság függvényében. Olyan tesztfelületeket is használtunk, melyek csak a polarizációban mutattak csíkmintázatot, máskülönben pedig egyenletesen sötétszürkék voltak. Mértük e tesztfelületek és valódi zebrabőrök fénypolarizáló sajátságait, valamint a három zebrafaj csíkvastagságának tesztfelületi eloszlását. Megállapítottuk, hogy a kellően csíkos mintázat sokkal kevésbé vonzó a böglyök számára, mint a homogén fehér vagy fekete felület, még akkor is, ha a csíkok csak a polarizációban mutatkoznak. Kimutattuk továbbá, hogy minél kisebb a csíkszélesség, annál kevésbé vonzzák a böglyöket a zebracsíkok, és a zebrák kültakaróján pont annyira csíkos a mintázat, ami gyakorlatilag már nem vonzza a böglyöket. Rámutattunk, hogy a zebracsíkos testmintázat egyik evolúciós jelentősége az lehet, hogy védelmet nyújt gazdájának a polarotaktikus böglyökkel s más vérszívó rovarokkal (pl. cecelegyekkel) szemben. Az általunk fölfedezett vizuális ökológiai jelenség általános is lehet, hiszen több olyan afrikai emlősfajnak is csíkosak egyes testrészei, melyek gazdaállatai a böglyöknek.
- **A cirkulárisan poláros fényt visszaverő kitinpáncéllal bíró szkarabeuszbogarak nem érzékelik a cirkulárisan poláros fényt [A-105]**: Sokszáz bogáregyeddal folytatott számos viselkedési kísérlettel megmutattuk, hogy négy szkarabeuszfaj – két rózsabogárfaj (*Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*) és két cserebogárfaj (*Anomala vitis*, *Anomala dubia*) – annak ellenére nem érzékeli a cirkulárisan poláros fényt, hogy zöld fémfényű kitinpáncéljuk balra cirkulárisan poláros fényt ver vissza, ami pedig alkalmas lehetne a fajon belüli és fajok közti vizuális kommunikációra. Ezzel egy évszázados paradigmát döntöttünk meg, ami akkor keletkezett, mikor Michelson, a később Nobel-díjas amerikai fizikus 1911-ben fölfedezte a szkarabeuszbogarak fémfényének cirkuláris polarizációját, s azóta úgy hiszik, hogy e bogarak vizuális kommunikációra használják ezen optikai jelet, ami rendkívül ritka az állatvilágban.

1.2. Poláros fényszennyezés és annak csökkentése

- **Polarotaktikus szitakötők vonzódása kőolajtavakhoz [A-37]**: Terepkísérletekkel kimutattuk, hogy a szitakötők sokkal jobban vonzódnak a kőolajtavakhoz, mint a természetes víztestekhez. Ennek okát a szitakötők pozitív polarotaxisában, azaz a vízről tükröződő, vízszintesen poláros fényhez való erős vonzódásukban találtuk meg. E jelenség magyarázta meg a szitakötőknek a kuvaiti sivatagi kőolajtavakbeli rejtélyes csapdázódását, mely furcsa jelenséget egy *Nature*-beli cikkünkben írtunk le korábban.
- **Miért petéznek a kérészek száraz aszfalt utakra? [A-39]**: Terepkísérletekkel sikerült magyarázatot lelnünk arra a régóta, sokak által ismert rejtélyes jelenségre, hogy miért petéznek a folyókból kikelő kérészek a rajzásuk után száraz aszfalt utakra, ahelyett, hogy visszatérnének a folyóhoz. Megmutattuk, hogy a kérészek is erősen vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez. Képpalkotó polarimetriával demonstráltuk, hogy a kérészek napnyugtakörüli rajzásakor a diffúz égboltfényvel megvilágított aszfaltfelületek vízszintesen poláros fényt vernek vissza, aminek polarizációfoka még a vízfelszínről tükröződő fényénél is nagyobb lehet, miáltal jobban vonzza a kérészeket. Az e témában megjelent cikkünk nagy

nemzetközi visszhangot váltott ki, például a *Nature* is közölt méltatást ezen eredményünkről.

- **Mezőgazdasági műanyag fóliák madárvonása [A-41, A-91]:** Terepkísérletekkel vizsgáltuk vízimadarak fehér és fekete mezőgazdasági műanyag fóliákhoz való vonzódását. Megmutattuk, hogy a földre terített fekete műanyag fóliák részben azért vonzanak bizonyos madarakat, mert a fekete fóliáról tükröződő erősen és vízszintesen poláros fény által odacsábított polarotaktikus rovarokat fogyasztják. E madarak fóliákon való előfordulási gyakorisága ezért egyben az odavonzott rovarok mennyiségének is egy mutatója.
- **A budapesti pakurató poláros fényszennyezésének katasztrófális ökológiai hatásai a rovar- és madárfaunára [A-44, A-45]:** Évekig vizsgáltuk a nyílt felszínű budapesti pakurató által csapdába ejtett rovarokat és madarakat. Képkalkotó polarimetriával mértük a fekete pakurafelszín fénypolarizáló-képességét az évszak függvényében. Megmutattuk, hogy a több, mint fél évszázados létezése során e pakurató erősen és vízszintesen poláros vízfelületet imitálva hatalmas mennyiségű polarotaktikus rovarot tévesztett meg, vonzott magához és ejtett csapdába. E rovarok számos rovarévő madarat vonzottak, melyek szintén a pakura áldozataivá váltak. E madártetemek további ragadozó és dögevő madarakat csábítottak, amelyek ugyancsak a pakurába pusztultak. Rámutattunk, hogy a budapesti pakurató hasonló katasztrófális ökológiai hatással bírt a környezetében élő rovar- és madárpopulációkra, mint egykor az ősi természetes felszíni aszfaltszivárgások és kátránytavak, melyek maradványai fontos szerepet játszanak az őslénytanban.
- **Miért vonzódnak a vízirovarok az autókhoz? [A-68, A-72]:** Több, mint 100 rovarfajjal végzett terepkísérletekkel és képkalkotó polarimetriai mérésekkel kiderítettük, hogy a vízirovarok piros és sötét színű autókhoz való vonzódása zömében az autókarosszériáról tükröződő vízszintesen poláros fény vonzó hatásával magyarázható, s nem az autó színével, mint korábban hitték. Az e témában a *Proceedings of the Royal Society B*-ben megjelent cikkünk nagy nemzetközi visszhangot váltott ki, például a *Science* is közölt egy recenziót róla.
- **Szitakötők fekete sírkövekre való petézése [A-82]:** Terepkísérletekkel és képkalkotó polarimetriával megmutattuk, hogy a szitakötők a fekete sírkövekre azért petéznek le, mert a sírkövek egyes részeiről tükröződő erősen és vízszintesen poláros fény vizet utánozva megtéveszti őket. Ily módon a fekete sírkövek poláros fényszennyezése sajátos ökológiai csapdát képez e polarotaktikus rovarok számára.
- **Üvegépületek poláros fényszennyezése és ökológiai hatásai [A-86, A-88, A-99]:** Rovarkísérletekkel és képkalkotó polarimetriával megmutattuk, hogy a folyópartokon és tavak mellett álló üvegépületek annak ellenére képesek polarotaktikus rovarokat magukhoz vonzani és poláros vízfelületet utánozni, hogy fénytükröző üvegfelületeik függőlegesek. Ennek oka, hogy a repülve vizet kereső rovarok szemébe a függőleges üvegfelszínről visszavert fény vízszintesen poláros bizonyos irányokból nézve. Rámutattunk továbbá, hogy miután e rovarok leszállnak az üvegfelületre, az arról a szemükbe tükröződő fénynek olyanok a polarizációs sajátosságai, hogy még az odavonzó hatásnál is jobban marasztalják a polarotaktikus rovarokat, ezért azok hosszú ideig az üvegen tartózkodnak, s arra rakhatják petéiket, melyek kiszáradva elpusztulnak. Így a vízparti üvegpalaták poláros fénycsapdaként működnek a polarotaktikus rovarok számára. Megfigyeltük azt is, hogy a poláros fényszennyező üvegépületekhez csábult polarotaktikus rovarok különféle madarakat vonzanak, melyek e rovarokkal táplálkoznak egy sajátos táplálkozási lánc csúcsragadozóiként.
- **Poláros fényszennyezés [A-94]:** Az elmúlt évtizedben a polarotaktikus rovaroknak a különféle mesterséges fénypolarizáló tükröző felületekhez való vonzódásával kapcsolatban zömében általunk összegyűjtött adatok és eredmények szintetizálásaként a hazai és nemzetközi szakirodalomba bevezettük a poláros fényszennyezés fogalmát, mint az

ökológiai fényszennyezés egy új, globális, éjjel és nappal egyaránt előforduló formáját. Az e témában a *Frontiers in Ecology and the Environment*-ben megjelent cikkünk nagy hazai és nemzetközi visszhangot váltott ki, például a *Science* is közölt egy méltatást ezen eredményünkről.

- **Napelemtáblák és napkollektorok poláros fényszennyezése, valamint annak hatékony csökkentése [A-98]**: Terepkísérletekkel és képalkotó polarimetriai mérésekkel vizsgáltuk a napelemtáblák és napkollektorok vízirovarokra kifejtett vonzó hatását. Megmutattuk, hogy bizonyos irányokból nézve e fekete sima felületek erősen és vízszintesen poláros fényt tükröznek, ami vonzza az e fényre érzékeny látórendszerű rovarokat. Terepkísérleteink közben fölfedeztük, hogy a sima és fekete tükrözőfelületek poláros fényszennyezése jelentősen csökkenthető vagy akár meg is szüntethető egy megfelelő sűrűségű, vékony fehér vonalakkal álló depolarizáló rácsmintázattal. A poláros fényszennyezés csökkentésének e módszerét szabadalmaztattuk is. Az e témában a *Conservation Biology*-ban megjelent cikkünk nagy nemzetközi visszhangot váltott ki.
- **Poláros fényszennyező hidak hatása a tiszavirág-állomány nagyságára és ivararánvára [A-104]**: Képalkotó polarimetriával mértük, hogy a folyók fölött húzódó hidak miként befolyásolják a vízfelület tükröződési-polarizációs mintázatait. Megmutattuk, hogy a hidak vízfelszíni tükörképe úgy módosítja a folyófelület polarizációját, hogy megszakítja a folyó közepén húzódó folyamatos, vízszintesen poláros sávot, ami miatt a folyón röpködő polarotaktikus kérészek partnak vélvén a híd tükörképét, visszafordulnak a hídnál, s az ellenkező irányban folytatják röptüket. Ezzel magyarázható a Tiszán rajzó tiszavirágok (*Palingenia longicauda*) hidaknál megfigyelt visszafordulása és föltorlódása, ami jelentősen kihat e kérészfaj egyedszámának és nemi arányának folyóbeli változására a hidak előtt és után.
- **A poláros fényszennyezés fogalmának beépülése (tan)könyvekbe [KF-4, KF-7, K-8]**: A vízirovarok polarizáció-látásával és a polarotaktikus rovarok ökológiai csapdáival kapcsolatos kutatási eredményeinkről egy átfogó angol nyelvű összefoglaló és szakirodalmi szemle jelent meg egy 2008-as könyvfejezetben. 2010-ben egy 47 oldalas angol nyelvű könyvecskét írtunk az aszfaltfelületek poláros fényszennyezéséről és hogy miként lehet azt csökkenteni. 2011-ben az ELTE Fizikai Intézetében használatos angol nyelvű egyetemi tankönyv egyik fejezetét én írtam a poláros fényszennyezésről.

1.3. Környezetünk polarizációs mintázatai és képalkotó polarimetriai mérések

- **A tiszta ég polarizációja és a poláros égbolt polarizálatlan (neutrális) pontjai [A-38, A-40, A-46, A-56]**: A tiszta égboltnak a földről figyelve három polarizálatlan, neutrális pontja van, melyek a szoláris és antiszoláris meridián mentén helyezkednek el: az Arago pont az anti-Nap alatt, a Babinet pont a Nap fölött, és a Brewster pont a Nap alatt. Ezek anti-Naptól, illetve Naptól mért maximális szögtávolsága 25° - 30° körüli. Ezen égi pontokat rendre 1810-ben, 1840-ben és 1842-ben Arago francia csillagász, Babinet francia meteorológus és Brewster angol fizikus figyelte meg először a földről, ezért róluk nevezték el. E neutrális pontoknak és környezetüknek a hullámhossztól és a napmagasságtól függő polarizációs mintázatait diákjaimmal együtt elsőnek mértem képalkotó polarimetriával Tunéziában, Finnországban és Magyarországon. Elméleti megfontolásokból következik, hogy a poláros légkörben léteznie kell egy negyedik neutrális pontnak is, ami azonban a földről nem látható; megfigyeléséhez nagyobb magasságba kell fölszállni. Mivel számos korábbi sikertelen próbálkozás ellenére e neutrális pontot még senkinek sem sikerült megfigyelnie, e pont névtelen volt a szakirodalomban, ahol egyszerűen csak "negyedik neutrális pontnak" hívták. Hőlégballonról 4000 m maximális magasságból napkeltekor a diákjaimmal együtt 180° látószögű képalkotó polarimetriával elsőnek sikerült megfigyelniünk a 4. neutrális

pontot a spektrum vörös, zöld és kék tartományában. E pont az anti-Nap alatt helyezkedik el, napkeltekor az anti-Naptól mért szögtávolsága 25° - 30° körüli. Kimutattuk, hogy a 4. neutrális pont hasonló spektrális és polarizációs tulajdonságokkal rendelkezik, mint a jól ismert és sokat vizsgált Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontok. Megmutattuk, hogy a 4. neutrális pont megfigyelhetőségének földfelszíntől mért alsó határa megközelítőleg 900 m. A hagyományok szerint a 4. neutrális pontot a szakirodalom a fölfedezőikről, első megfigyelőikről fogja elnevezni.

- **A holdfényes éjjeli égbolt polarizációs mintázatai [A-51]**: 180° látószögű képalkotó polarimetriával mértük a telihold által megvilágított éjszakai égbolt polarizációs mintázatát a Hold zenittől mért szögtávolsága függvényében. A teliholdas ég polarizációs mintázatát összehasonlítottuk a Nap által megvilágított ég polarizációs mintázatával. Kimutattuk, hogy a két polarizációs mintázat gyakorlatilag megegyezik a Nap-, illetve Hold azonos zenittávolsága esetén. A nappali égbolthoz hasonlóan meghatároztuk a teliholdas éjszakai égbolt neutrális pontjainak, a lunáris Arago- és Brewster-féle neutrális pontoknak az égbolton elfoglalt pozícióit. Méréseink biológiai jelentősége, hogy több olyan holdfényes éjszakákon aktív rovarfaj is létezik, amely a navigációjához felhasználja a telihold által megvilágított ég polarizációs mintázatát, ha a Hold felhők mögött vagy a horizont alatt van.
- **A felhős égbolt polarizációja [A-50, A-84]**: Egy tunéziai expedíción az egyik diákkal együtt a napállás és a hullámhossz függvényében képalkotó polarimetriával mértük a felhős ég azon hányadát, amit az égbolt-polarizációs iránytűvel rendelkező állatok orientációra használhatnak. Bizonyítottuk, hogy részben felhős ég esetén annál nagyobb e hányad, minél rövidebb a fény hullámhossza. Ezért az égbolt polarizációs mintázatát a spektrum ultraibolya tartományában célszerű érzékelni. Ezzel a polarizáció-látás ultraibolya paradoxonát sikerült feloldanunk. Egy északi-sarki expedíción és Magyarországon mértük a teljesen felhős ég polarizációját. Kiderült, hogy habár a vastag felhőkön áttörő napfény polarizációfoka igen kicsi, a polarizáció-iránya gyakorlatilag megegyezik a tiszta égbolt fényével. Ez azért fontos, mert ezek szerint a fénypolarizációra kellően érzékeny látórendszerű állatok még teljesen borult időben is képesek lehetnek az égboltfény polarizáció-irányának mintázata segítségével tájékozódni.
- **Térhatású képalkotó polarimetria [A-49]**: Kifejlesztettem a sztereo képalkotó polarimetria módszerét, amellyel a vizuális környezet polarizációs mintázatai mérhetők és három dimenzióban ábrázolhatók. A sztereo-polarimetria a tárgyak hagyományos háromdimenziós (sztereo) ábrázolását lehetővé tevő eljárás és a képalkotó polarimetria összeházasításával született új módszer. Három különböző polárszűrőállásnál készítünk egy-egy felvételt külön a jobb, illetve a bal szem számára, majd mindkét képre elvégezzük a polarimetria képfeldolgozási műveleteit. Ezután egy külön e célra készült számítógépes programmal ábrázoljuk a polarizációs mintázatok sztereo képpárjait. E sztereo-polarimetriai képeket úgy kell nézni, hogy a bal szem csak a bal képet, a jobb pedig csak a jobb képet lássa, ami többféleképpen tehető meg, például az átellenes kép kitakarásával vagy speciális prizmapár alkalmazásával.
- **Az égbolt-polarizáció térbeli és időbeli változása teljes napfogyatkozásokkor [A-48, A-58, A-90]**: 180° látószögű képalkotó polarimetriával diákjaimmal együtt a teljes égbolt polarizációs mintázatának időbeli változását mértük a vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) színtartományban az 1999. augusztus 11-ki teljes napfogyatkozáskor. Mindezzel elsőnek tudtunk bepillantást nyerni abba, hogy milyen az égboltfény polarizációfokának és polarizáció-irányának eloszlása és miként változik az az időben egy teljes napfogyatkozás néhány perce alatt uralkodó szokatlan megvilágítási viszonyok eredményeként. E mintázatokat összehasonlítottuk a normál tiszta égbolt polarizációs mintázataival. Az égbolt teljes napfogyatkozáskor mért polarizációs mintázatain több új neutrális pontot fedeztünk föl. Egyszeri és kétszeres fényszórást, valamint a földfelszín által visszavert fényt is

figyelembe vevő légköroptikai modellünkben kvalitatív magyarázatot adtunk a totalitás alatti égbolt polarizáció-irányának és neutrális pontjainak, valamint a polarizációfok helyi minimumainak eredetére. Eredményeinket összehasonlítottuk a korábbi teljes napfogyatkozásokkor mért égpolt polarizációs mérésekkel; elemeztük a hasonlóságokat, és rámutattunk az eltérések lehetséges okaira. E méréseket 2006. március 29-én sikerült megismételni egy törökországi teljes napfogyatkozáskor. Kiderült, hogy a korábban Magyarországon mért és megfigyelt égbolt-polarizációs jelenségek a török napfogyatkozásra is jellemzőek, miáltal valószínűleg általánosan érvényesek a napfogyatkozásokra.

- **Vízfelszín tükröződési-polarizációs mintázatai [A-47, A-54, A-101]**: 180° látószögű képkalkáló polarimetriával diákjaimmal együtt mértük egy sima vízfelület tükröződési-polarizációs mintázatait naplementekor. Az égboltny jellegzetes polarizációs mintázata a vízfelületről történő tükrözés során jelentősen megváltozik. E polarizációs mintázatot elsőként nekünk sikerült mérni 2π térszögben. A kapott eredményeket összehasonlítottuk az egyszeres szórású Rayleigh-modell és a Fresnel-képletek alapján számított tükröződési-polarizációs mintázatokkal, és kísérletileg igazoltuk az elméleti jóslatok helyességét. Ezen eredmények a vízirovarok élőhelyfelkutatási viselkedésének pontosabb megismeréséhez fontosak, hiszen ezen állatok élőhelyüket a vízfelületről visszaverődő vízszintesen poláros fény alapján találják meg. Nagyszámú, különböző vízfelületről eltérő irányokból készült polarizációs mintázat mérésével fényt derítettünk arra, hogy milyen vizuális ingerek érhetnek egy polarizáció-érzékeny látórendszerű vízirovarra. Azt is vizsgáltuk, hogy ezen optikai sajátságok alapján lehet-e kategorizálni a különböző vízi élőhelyeket. Kimutattuk, hogy például a fekete és a fehér vizek közti optikai különbség elsősorban a polarizációfokban nyilvánul meg, amennyiben a fekete vizeknek jelentősen nagyobb a polarizációfoka. A sekély, tiszta víz, illetve a tejszerűen zavaros (szikes) vizek, és a mély, sötét tónusú vizek polarizációfoka jelentősen eltér egymástól. Nagy különbségek lehetnek ugyanazon vízfelület tükröződési-polarizációs mintázatai között attól függően, hogy a Naphoz képest milyen irányból szemléljük. Vizsgáltuk a vízfelületek tükröződési-polarizációs mintázatát a víznövényekkel való fedettség függvényében. Terepmérésekkel és -kísérletekkel kimutattuk, hogy a polarotaktikus vízirovaroknak a víztestekbe történő betelepülését milyen nagy mértékben befolyásolja e növényi fedettség, ami elnyomja a vízfelületről tükröződő vízszintesen poláros jelet, megnehezítve ezzel a polarizációalapú vízdetekciót.
- **Polarizációs felhődetekció [A-52]**: Diákjaimmal együtt kidolgoztam egy hatékony kísérleti és számítógépes képfeldolgozási módszert, mellyel a felhőket a szokványos fotometriai eljárásoknál jóval megbízhatóbban lehet fölismerni a teljes égbolt polarizációs mintázatainak fölhasználásával. Ezt az általam kifejlesztett 180° látószögű képkalkáló polarimetria tette lehetővé. Az égnek a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában mért polarizációfok és polarizáció-irány mintázatai fölhasználásával továbbfejlesztettük a fotometrius felhőészlelés hagyományos algoritmusát, ami az égboltny intenzitása és színe alapján különíti el a felhőket a tiszta égbolttól. A kombinált fotometrius és polarimetrius felhődetektáló algoritmusunk hatékonyságát összehasonlítottuk egy csak fotometrius és csak polarimetrius algoritmussal, mely vagy az ég fényintenzitás-mintázatát vagy pedig a polarizációfok és polarizáció-irány mintázatait használja föl. Megmutattuk, hogy mind a kombinált, mind pedig a csak polarimetrius felhődetektáló algoritmus sokkal megbízhatóbb, mint a fotometrius felhőészlelő algoritmus. Habár a légkörfizikusok és meteorológusok a Föld felhőzettségének mértékét, mint az éghajlati modellek egyik legfontosabb bemeneti paraméterét többnyire ürfelvételekből határozzák meg, számos esetben merül föl annak igénye is, hogy egy adott földrajzi helyen a felhőzettség fokát a földfelszínről becsüljék meg valamilyen módszerrel.

Ezt sok meteorológiai észlelőállomáson még manapság is vizuális becsléssel végzik a tapasztalt megfigyelők. Mindezen túl sokszor szükséges a helyi időjárási viszonyok pontos földi meghatározása is, aminek egyik fontos eleme a felhőzettség becslése. Ilyen esetekben is legtöbbször emberek végzik a megfigyelést, ami a szubjektív ítéletből következő hibákkal és ellentmondásokkal terhes. E problémákra jelent megoldást a 180° látószögű képalkotó polarimetria és a vele mért égbolt-polarizációs mintázatokat használó polarimetrikus felhődetektáló algoritmus.

- **A szivárvány és a ködív polarizációja [A-57, A-102]:** 180° látószögű képalkotó polarimetriával elsőként sikerült mérnem egy kettős ívű szivárvány polarizációs mintázatát a finnországi Oulu város tengerpartján. Ugyancsak elsőnek mértem számos ködív (másnéven fehér szivárvány) polarizációs jellemzőit az Északi-sarkvidéken az Északi-sarkot átszelő Beringia 2005 sarkkutató expedíción. Méréseimmel beigazolódott néhány korábbi elméleti számítás helyessége, valamint további jelenségeket figyeltem meg, melyek elméleti magyarázata és számítógépes modellezése a jövő feladata.
- **A szkarabeuszbogarak fémfényű kitinpáncéljának cirkuláris polarizációja [A-71]:** A Magyar Nemzeti Múzeum Bogárgyűjteményében képalkotó polarimetriával elsőnek mértük számos szkarabeuszbogár (rózsa- és cserebogár) fémfényű kitinpáncéljának a cirkuláris polarizációs mintázatait. Ez azért fontos, mert e rovarok kültakarója az állatvilágban egyedülálló módon balra-cirkulárisan poláros fémfényt ver vissza, amit 1911-ben a Nobel-díjas Michelson amerikai fizikus fedezett föl. Azóta senki sem tudja, hogy vajon e rovarok képesek-e érzékelni a cirkulárisan poláros fényt, és ha igen, akkor használják-e azt vizuális kommunikációra. E kérdéskör megválaszolásához elengedhetetlen polarimetriai vizsgálatokkal föltérképezni a cirkulárisan poláros fényt tükröző rovarokat. Polarimetriai módszerünk és a vele elért eredményeink ebben segítenek.
- **Miért nem vonzzák a polarotaktikus vízirovarokat a fölégetett tarló fekete pernyemezői? [A-76]:** Képalkotó polarimetriával mértük fölégetett tarlómezők polarizációs mintázatait. Arra kerestük a választ, hogy mi az oka annak, hogy habár e nagy vízszintes felületű fekete pernyemezők erősen polarizálják a róluk visszaverődő napfényt, a mi és mások megfigyelései szerint mégsem vonzzák a polarotaktikus vízirovarokat. Abban találtuk meg a választ, hogy a fekete pernyemezőkről visszavert napfény polarizáció-iránya általában nem vízszintes, merőleges lévén a megfigyelő, a megfigyelt pont és a Nap által meghatározott visszaverődési síkra. Mivel a vízirovarok vonzásához nem elég a nagy polarizációfok, hanem a polarizáció-iránynak is vízszintesnek kell lennie, ezért e rovarok röptükben vizet keresve nem hisznek víznek egy pernyemezőt a róla visszavert erősen poláros napfény nem vízszintes polarizációja miatt.
- **A vízfelszín Snellius-ablakán át nézett égbolt polarizációja [A-75]:** Izraeli tengerbiológus kollégákkal együttműködve meghatároztuk az égbolt víz alól nézett polarizációs mintázatát. Eilatban egy tenger alatti bázisról mérték az égboltfény polarizációját, a laboromban pedig számítógéppel meghatároztuk, hogy a fénytörés és a törési polarizáció miként módosítja a tiszta égboltnak a Nap zenittávolságától függő polarizációs mintázatát a víz alól nézve a sima vízfelszín Snellius-ablakán át. E mintázatok azon vízi állatok polarizáció-látásában és viselkedésében játszanak fontos szerepet, melyek az égboltnak a vízfelület Snellius-ablakán át érzékelt polarizációs mintázata alapján tájékozódnak.
- **A víz-ég és jég-ég polarizációja az Északi-sarkvidéken [A-79]:** A Beringia 2005 sarkkutató expedíción képalkotó polarimetriával elsőnek mértem a fehér jégfelszín és a sötét vízfelszín fölötti jég-égnek nevezett világos, illetve víz-égnek hívott sötét égbolt polarizációs mintázatait. Kimutattuk, hogy a sarkvidéki jégmezők polinyja nevű nyílt vízfelületeit a fölöttük húzódó víz-ég polarizációja segítségével már messziről föl lehet fedezni, mikor maga a távoli vízfelszín a Föld görbülete miatt még nem is látszik.

- **Erdőtüzekről füstös ég polarizációja [A-81]**: A Beringia 2005 sarkkutató expedíció az alaszki Fairbanks városban az erdőtűzszezonban képképző polarimetriával mértem az erdőtüzekről füstös égbolt polarizációs jellemzőit. Kollégáimmal együtt kimutattuk, hogy a füstös égbolt fényének polarizációirány-mintázata nagyon hasonló a tiszta égbolthoz, ugyanakkor a polarizációfoka igen kicsi. Ezzel megmagyaráztuk az Alaszkában és Kanadában megfigyelt rejtélyes jelenséget, hogy az égbolt-polarizáció alapján tájékozódó egyes rovarok repülés, vándorlás közben miért tévednek el gyakran az erdőtűzszezonban. Azért, mert habár lehetőségük lenne a füstös ég polarizációirány-mintázata segítségével orientálódni mikor a füst eltakarja a Napot, erre mégsem képesek, mert nem érzékelik az égboltfény polarizációját annak igen alacsony polarizációfoka miatt.
- **Napfény által megvilágított falombok polarizációs mintázatai erdőkben [A-83]**: Finnországi 180° látószögű képképző polarimetriai mérésekkel bizonyítottuk, hogy az erdőkben a napfény által megvilágított lombokon ugyanolyan polarizációirány-mintázat keletkezik, mint ami a tiszta/ködös/füstös/felhős égboltra jellemző. Ez azért fontos, mert az erdőkben a Napot többnyire lombok takarják, de a polarizáció-látású erdei állatok a följük hajló lombsátor polarizációirány-mintázatából ugyanúgy képesek megállapítani a Nap irányát, mint az erdőn kívüli társaik az égboltfény polarizációirány-mintázatából.
- **Angol nyelvű monográfia a polarimetriáról és polarizáció-látásról [K-4]**: 2004-ben jelent meg a német Springer kiadónál az állatok és az ember polarizáció-látásáról, valamint a természet polarizációs mintázatairól szóló angol nyelvű monográfiám.

1.4. Égboltpolarimetriai viking-navigáció

- **Viking-navigáció szabad szemmel [A-69]**: Számos tesztszemélyen végzett laboratóriumi pszichofizikai kísérletekkel kimutattuk, hogy nem igaz az a nézet, miszerint az ember szabad szemmel is nagy pontossággal képes meghatározni a felhők által takart vagy a horizont alatt lévő Nap helyét. Ezen eredmény azért fontos, mert rávilágít arra, hogy a vikingek a tengeri hajózásaik során nem tudhatták szabad szemmel pontosan megbecsülni a felhők mögötti vagy a tengeri horizont alatti Nap helyét, amire pedig nagy szükségük lett volna a napiránytűjükkel való navigációjukhoz. Eredményünk közvetve alátámasztja azt a hipotézist, hogy a viking navigátoroknak szükségük lehetett a napiránytűn túl egy másik, például az égboltfény polarizációjára alapuló navigációs módszerre is, mikor a Nap felhők vagy köd miatt nem volt látható.
- **Viking-navigáció az égboltfény polarizációja segítségével [A-66, A-80, A-100]**: Képképző polarimetriai mérésekkel a Nap horizont fölötti szögmagassága függvényében meghatároztuk a tiszta és felhős égbolt azon hányadát, aminek a polarizáció-iránya adott pontosságon belül megfelel az egyszeres fényszórás Rayleigh-féle modelljének. E hányad ismerete például annak eldöntésében fontos, hogy a vikingek milyen meteorológiai viszonyok között lehettek képesek navigálni a tengeren az égboltfény polarizációja alapján. Ugyanis az égbolt-polarizáció segítségével történő viking-navigációra az ég azon részei alkalmasak, amelyekről jövő fény polarizációja a Rayleigh-modellnek felel meg. Északi-sarkvidéki és magyarországi expedíciókon végzett égboltpolarimetriai vizsgálatokkal meghatároztuk azon meteorológiai körülményeket, melyek lehetővé tehetik az égboltpolarimetriai viking-navigációt. Kiderült, hogy a ködös és felhős égbolt polarizációirányának mintázata nagyon hasonló a tiszta égbolttal, ami egyben alkalmas a polarimetriai viking-navigációra. Ugyanakkor ködös és/vagy felhős körülmények között olyan kicsi az égboltfény polarizációfoka, ami kétségesé teszi a vikingek égbolt-polarizáció alapuló tájékozódásának hatékonyságát. Rámutattunk, hogy további pszichofizikai mérésekkel lehet csak eldönteni, hogy milyen égboltviszonyok között működhet nagyobb pontossággal a

polarimetriai viking-navigáció. Az e témában megjelent cikkeink nagy hazai és nemzetközi visszhangot váltottak ki.

1.5. A kihalt trilobiták látórendszerének paleo-biooptikai rekonstrukciója

- **A kihalt háromkaréjos ősrákok szemének paleo-biooptikai vizsgálata [A-42, A-43]:** Ősmaradványok anatómiai vizsgálatával és számítógépes geometriai optikai modellezéssel rekonstruáltuk néhány, több, mint száz millió évvel ezelőtt kihalt háromkaréjos ősrák (trilobita) összetett szemében talált szemlencse alakját és optikáját. Felfedeztük, hogy egyes trilobitafajoknak olyan kétfókuszú (bifokális) szemlencsési voltak, amelyek lehetővé tették, hogy a trilobita egyszerre láthasson élesen közelre és távolra, annak ellenére, hogy a kalcitból álló szemlencsési merevek voltak.
- **Nemzetközi paleontológiai díj a trilobiták látásának kutatásáért [A-77]:** A trilobiták összetett szeme a jelenleg ismert legősibb látórendszernek számít, amely viszonylag jó megtartással őrződött meg a többszáz millió éves fosszilis eltemetődés ellenére. Az evolúciós ismeretek bővülése miatt fontos, és az ősiség okán nagy bravúrnak számít bármilyen megbízható új ismeret megszerzése e témakörben. A trilobiták szemének és látásának paleo-biooptikai kutatásában elért eredményeinket összefoglaló cikkünket a Spanyol Őslénytani Társaság 2007-ben Nemzetközi Paleontológiai Díjjal (*Paleonturologia 2007*) jutalmazta.
- **A trilobitalátás paleo-biooptikája tankönyvekben és enciklopédiákban [K-5, K-6, KF-3]:** A háromkaréjos ősrákok szemének és látásának paleo-biooptikai vizsgálatában elért, nagy hazai és nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeink bevonultak úgy a magyar [K-5], mint az angol nyelvű tankönyvi [K-6] és enciklopédikus [KF-3] irodalomba.

1.6. Biooptika: vizuális környezetünk optikai sajátosságai

- **Binokuláris ferde pillantás a vízfelszínen át [A-59, A-60]:** Számítógépes modellezéssel meghatároztuk a víz alatti világ fénytöréstől torzult látszólagos szerkezetét egy levegőbeli megfigyelő két szemének a vízfelszínhez képesti elhelyezkedése függvényében. Megoldottuk az inverz optikai problémát is, vagyis, hogy a levegő-víz határfelületnél bekövetkező fénytörés miként torzítja látszólagosan a víz fölötti világot a víz alól nézve. Kiderült, hogy a vízfelületen túli világ fénytöréstől torzult szerkezete sokkal bonyolultabb, mint korábban gondolták, és erősen függ a vízfelületen inneni megfigyelő szemének relatív helyzetétől. Rámutatunk, hogy e klasszikus optikai problémát még a legszínvonalasabb optikai tankönyvek is helytelenül kezelik, rendre hibás megoldásokat adván, mely hibákat kijavítottuk.
- **Miért szállnak a pelikánok sivatagi aszfalt utakra? [A-92]:** Számítógépes modellezéssel meghatároztuk egy aszfalt út fölötti hőmérsékleti gradiens függvényében azon vízszintes távolságot, amilyen messze látja egy adott magasságú megfigyelő a délibábtükrözés szélét. A vitorlázva repülő madarak siklószámának ismeretében megbecsültük azon vízszintes távolság maximumát, amilyen messze egy madár siklórepüléssel adott magasságból eljuthat. E két adat alapján megmutattuk, hogy egy forró aszfalt út fölött sikló pelikán nem hiheti azt, hogy szárnycsapás nélküli siklórepüléssel simán elérheti a délibáb miatt víznek látszó, túl messze lévő tükröző aszfaltfelületet. Ezért tehát a pelikánok sivatagi aszfalt utakon való leszállásának a délibábtükrözés vízutánzó hatása mellett valamilyen más okának is lennie kell.
- **Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? [A-96]:** Számítógépes geometriai optikai modellezéssel, valamint sima és szőrös leveleken ülő vízcseppekkel folytatott napfényes besugárzási kísérletekkel igazoltuk, hogy sima felszínű leveleken ülő

vízcseppek nem égetik be napsütésben az alattuk lévő levélszövetet, aminek megadtuk a biofizikai okait is. Kimutattuk ugyanakkor, hogy a levelek víztaszító szőrein nyugvó vízcseppek égési sérülést okozhatnak a levélen napsütésben. Ezzel egy tévhittekel terhes biooptikai problémát tisztáztunk, jelesül azt, hogy szabad-e délben öntözni a növényeket annak veszélye nélkül, hogy a vízcseppek által fókuszált napfény égési foltokat okozzon. Megmutattuk, hogy a közhiedelemmel ellentétben nem délben, hanem késő délután lenne annak legnagyobb esélye, hogy egy vízcseppnek az alatta lévő levélfelszínre eső fókuszterománya beégethesse a levelet, de ekkor az alacsony napállás miatt már a beégetéshez nem elegendő erősségű a napfény. Rámutattunk arra is, hogy az erdőtüzekeket nem okozhatja az esőcseppek által fókuszált fény gyújtó hatása, továbbá valószínűtlen, hogy a fürdés után vízcseppek emberi bőr égési sérüléseket szenvedhetne a vízcseppek által összegyűjtött, nagy intenzitású napfény miatt. A címlapfotóval együtt megjelent cikkünk nagy nemzetközi visszhangot váltott ki, például a *Nature Photonics* is közölt egy méltatást.

1.7. Biomechanika: sport-, csont- és járásmechanika

- **Sport-biofizika [A-53]:** Számítógépes modellezéssel és elméleti számításokkal meghatároztuk a Föld forgása miatt ébredő tehetetlenségi (Coriolis- és centrifugális) erők, valamint más fontos környezeti és meteorológiai hatások (pl. léghőmérséklet, légnyomás, tengerszint fölötti magasság, szél) befolyását a súlylökés és kalapácsvetés dobótávjaira. Megmutattuk, hogy már itt lenne az ideje e hatások figyelembevételének a dobótávok, különösen a világcúcsok hitelesítésében. Javaslatot tettünk arra, miként lehetne az olimpiákon és más világversenyekeken a környezeti hatások befolyásának figyelembevételével korrigált dobótávot elfogadni, mint a valós sportteljesítményt fizikailag is korrekten tükröző eredményt.
- **Csontmechanika [A-65, A-67, A-74]:** Nagyszámú róka- (*Vulpes vulpes*), madár- (*Corvus corone cornix*, *Pica pica*) és emberi múmia-csonton kísérletileg teszteltük, mennyire követi a velős és légcsöves végtagcsontok relatív falvastagsága az elméleti biomechanikai optimumot. Kimutattuk, hogy az emberhez képest a vadállatok lábcsontjai sokkal közelebb állnak azon optimumhoz, ami a csonttömeg minimalizálása mellett a különféle mechanikai terhelésekkel szemben megfelelően ellenálló csontokat biztosít. Ugyanakkor cáfoltuk azt a széles körben elterjedt paradigmát, miszerint az evolúció során a végtagcsontok szerkezete szigorúan e biomechanikai optimumnak megfelelően fejlődött. Rámutattunk a korábbi vizsgálatok azon módszertani hibáira, melyek e téves paradigmához vezettek.
- **Járásmechanika [A-93, A-109]:** Négy lábú állatok, főleg lovak járását ábrázoló nagyszámú rajz, csontváz, állatpreparátum és játékfigura biomechanikai elemzésével kimutattuk, hogy a természettudományi múzeumokban és állatanatómiai tankönyvekben meglepően magas a hibás négy lábú járásábrázolások aránya. Ez azért meglepő, mert Eadweard Muybridge 1880-as évekbeli úttörő fényképezési vizsgálatai óta közismertnek kellene lennie annak, hogy miként változik a lábak egymáshoz képesti helyzete a négy lábúak járásakor. Furcsa módon a játék állatfigurák járásábrázolásának hibaráta kisebb, mint a tudományos igényű készült múzeumi és tankönyvi ábrázolásokéi. Az e témában a *Current Biology*-ban megjelent cikkünk nagy nemzetközi visszhangot váltott ki, például a *Science* is közölt egy méltatást. Négy lábúak járását ábrázoló nagyszámú őskori és modern kori művészeti alkotások biomechanikai elemzésével megmutattuk, hogy az ősember a barlangok falán és a sziklákon érdekes módon sokkal pontosabban ábrázolta az állatok járását, mint a későbbi korok művészei a grafikákon, festményeken, szobrokon és domborműveken. Azt is megmutattuk, hogy a négy lábúak művészi járásábrázolásainak hibaráta lecsökkent Muybridge munkássága után, és egyre csökkenő trendet mutat a jelenkorhoz közeledve.

- **Biomechanika tankönyv [K-3, K-7]:** 2001-ben, 2004-ben és 2009-ben jelentek meg az ELTE Eötvös Kiadó gondozásában a *Biomechanika* egyetemi tankönyvem egyre bővülő, átdolgozott kiadásai, melyek a főnti eredmények nagy részét is tartalmazzák.

1.8. Hivatkozott irodalom

- [K-8] Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Hegedüs, R.; Neumann, L.; Åkesson, S.; Robertson, B. (2010) *Asphalt Surfaces as Ecological Traps for Water-Seeking Polarotactic Insects: How can the Polarized Light Pollution of Asphalt Surfaces be Reduced?* Series: Environmental Remediation Technologies, Regulations and Safety. Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, New York, USA, p. 47, ISBN 978-1-61668-863-9
- [K-7] Horváth G. (2009) *Biomechanika: A mechanika biológiai alkalmazásai*. Egyetemi tankönyv, 3. átdolgozott, bővített kiadás, 368 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, ISBN 978-963-284-052-9
- [K-6] Clarkson, E. N. K.; Levi-Setti, R.; Horváth, G. (2008) *The eyes of trilobites: the oldest preserved visual system + Los ojos de los trilobites: el sistema visual más antiguo conservado* (in Spanish) *Fundamental* 13: 1-70, ISBN-13: 978-84-934800-7-3 (International Paleontological Best Paper Award: Paleonturología 2007, Spanish Palaeontological Society)
- [K-5] Horváth G. (2004) *A geometriai optika biológiai alkalmazása: Biooptika*. Egyetemi tankönyv, 400 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, ISBN 963-463-651-9 (2 MFt támogatást nyert az Oktatási Minisztérium 2004. évi tankönyvpályázatán)
- [K-4] Horváth, G.; Varjú, D. (2004) *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg - Berlin - New York, p. 447, ISBN 3-540-40457-0
- [K-3] Horváth G. (2001) (2004: 2. változatlan kiadás) *A mechanika biológiai alkalmazása: Biomechanika*. Egyetemi tankönyv, 262 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, ISBN 963-463-379-X
- [KF-7] Horváth, G. (2012) Polarized light pollution. In: *Environmental Physics Methods Laboratory Practices* (editors: Máté Csanád, Ákos Horváth, Gábor Horváth, Gábor Veres) Chapter 9., pp. 100-132, Typotex Kiadó, Budapest (in press)
- [KF-4] Horváth, G.; Kriska, G. (2008) Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. In: *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. (Lancaster, J. and Briers, R. A., eds.) CAB International Publishing, Wallingford, Oxon, UK, Chapter 11, pp. 204-229
- [KF-3] Levi-Setti, R.; Clarkson, E. N. K.; Horváth, G. (2002) The Eye: Paleontology. In: *Frontiers of Biology - Italian Encyclopedia. Part I. Origin and Evolution of Life. Section 7. Construction of the Organism* (eds. D. Baltimore, R. Dulbecco, F. Jacob, R. Levi-Montalcini) pp. 379-395
- [A-109] Horváth, G.; Farkas, E.; Boncz, I.; Kriska, G. (2012) Cavemen depicted quadruped walking more correctly than later artists: Erroneous quadruped walking illustrations in the fine arts from prehistory to today. *PLoS ONE* (submitted)
- [A-108] Blahó, M.; Egri, Á.; Báhidszki, L.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2012) A benefit of spotty coat patterns: Patchier cattle are less attractive to polarotactic horseflies. *PLoS ONE* (submitted)
- [A-107] Bernáth, B.; Horváth, G.; Meyer-Rochow, V. B. (2012) Polarotaxis in egg-laying yellow fever mosquitoes *Aedes (Stegomyia) aegypti* is masked due to infochemicals. *Journal of Insect Physiology* (submitted)
- [A-106] {IF = 3.040} Egri, Á.; Blahó, M.; Kriska, G.; Farkas, R.; Gyurkovszky, M.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2012) Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology* 215: 736-745 + electronic supplement
- [A-105] Blahó, M.; Egri, Á.; Hegedüs, R.; Jósvai, J.; Tóth, M.; Kertész, K.; Biró, L. P.; Kriska, G.; Horváth, G. (2012) No evidence for behavioral responses to circularly polarized light in four scarab beetle species with circularly polarizing exocuticle. *Physiology and Behavior* 105: 1067-1075 + electronic supplement
- [A-104] Málnás, K.; Polyák, L.; Prill, É.; Hegedüs, R.; Kriska, G.; Dévai, G.; Horváth, G.; Lengyel, S. (2011) Bridges as optical barriers and population disruptors for the mayfly *Palingenia longicauda*: An overlooked threat to freshwater biodiversity? *Journal of Insect Conservation* 15: 823-832 + electronic supplement

- [A-103] Horváth, G.; Móra, A.; Bernáth, B.; Kriska, G. (2011) Polarotaxis in non-biting midges: female chironomids are attracted to horizontally polarized light. *Physiology and Behavior* 104: 1010-1015 + cover picture
- [A-102] Horváth, G.; Hegedüs, R.; Barta, A.; Farkas, A.; Åkesson, S. (2011) Imaging polarimetry of the fogbow: polarization characteristics of white rainbows measured in the high Arctic. *Applied Optics* 50: F64-F71
- [A-101] Molnár, Á.; Hegedüs, R.; Kriska, G.; Horváth, G. (2011) Effect of cattail (*Typha* spp.) mowing on water beetle assemblages: changes of environmental factors and the aerial colonization of aquatic habitats. *Journal of Insect Conservation* 15: 389-399
- [A-100] Horváth, G.; Barta, A.; Pomozi, I.; Suhai, B.; Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Meyer-Rochow, B.; Wehner, R. (2011) On the trail of Vikings with polarized skylight: Experimental study of the atmospheric optical prerequisites allowing polarimetric navigation by Viking seafarers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 366: 772-782 + electronic supplement
- [A-99] Robertson, B.; Kriska, G.; Horváth, V.; Horváth, G. (2010) Glass buildings as bird feeders: Urban birds exploit insects trapped by polarized light pollution. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 56(3): 283-293
- [A-98] Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, G.; Seres, I.; Robertson, B. (2010) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24: 1644-1653 + electronic supplement
- [A-97] Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Gericis, B.; Farkas, R.; Åkesson, S. (2010) An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society B* 277: 1643-1650
- [A-96] Egri, Á.; Horváth, Á.; Kriska, G.; Horváth, G. (2010) Optics of sunlit water drops on leaves: Conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist* 185: 979-987 + cover picture + online supplement
- [A-95] Kriska, G.; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G. (2009) Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55: 1167-1173
- [A-94] Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Robertson, B. (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 317-325
- [A-93] Horváth, G.; Csapó, A.; Nyeste, A.; Gericis, B.; Csorba, G.; Kriska, G. (2009) Erroneous quadruped walking depictions in natural history museums. *Current Biology* 19: R61-R62 + online supplement
- [A-92] Kriska, G.; Barta, A.; Suhai, B.; Bernáth, B.; Horváth, G. (2008) Do brown pelicans mistake asphalt roads for water in deserts? *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54 (Suppl. 1): 157-165
- [A-91] Bernáth, B.; Kriska, G.; Suhai, B.; Horváth, G. (2008) Wagtails (Aves: Motacillidae) as insect indicators on plastic sheets attracting polarotactic aquatic insects. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54 (Suppl. 1): 145-155
- [A-90] Sipőcz, B.; Hegedüs, R.; Kriska, G.; Horváth, G. (2008) Spatiotemporal change of sky polarization during the total solar eclipse on 29 March 2006 in Turkey: polarization patterns of the eclipsed sky observed by full-sky imaging polarimetry. *Applied Optics* 47 (issue 34): H1-H10
- [A-89] Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, G. (2008) Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95: 1093-1100
- [A-88] Malik, P.; Hegedüs, R.; Kriska, G.; Horváth, G. (2008) Imaging polarimetry of glass buildings: Why do vertical glass surfaces attract polarotactic insects? *Applied Optics* 47: 4361-4374 + cover picture
- [A-87] Bernáth, B.; Horváth, G.; Gál, J.; Fekete, G.; Meyer-Rochow, V. B. (2008) Polarized light and oviposition site selection in the yellow fever mosquito: No evidence for positive polarotaxis in *Aedes aegypti*. *Vision Research* 48: 1449-1455
- [A-86] Kriska, G.; Malik, P.; Szivák, I.; Horváth, G. (2008) Glass buildings on river banks as "polarized light traps" for mass-swarming polarotactic caddis flies. *Naturwissenschaften* 95: 461-467
- [A-85] Kriska, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Horváth, G. (2008) Polarotaxis in tabanid flies and its practical significance. *Acta Biologica Debrecina, Supplementum Oecologica Hungarica* 18: 101-108

- [A-84] Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2007) Polarization patterns of thick clouds: overcast skies have distribution of the angle of polarization similar to that of clear skies. *Journal of the Optical Society of America A* 24: 2347-2356
- [A-83] Hegedüs, R.; Barta, A.; Bernáth, B.; Meyer-Rochow, V. B.; Horváth, G. (2007) Imaging polarimetry of forest canopies: how the azimuth direction of the sun, occluded by vegetation, can be assessed from the polarization pattern of the sunlit foliage. *Applied Optics* 46: 6019-6032
- [A-82] Horváth, G.; Malik, P.; Kriska, G.; Wildermuth, H. (2007) Ecological traps for dragonflies in a cemetery: the attraction of *Sympetrum* species (Odonata: Libellulidae) by horizontally polarizing black gravestones. *Freshwater Biology* 52: 1700-1709
- [A-81] Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2007) Anomalous celestial polarization caused by forest fire smoke: Why do some insects become visually disoriented under smoky skies? *Applied Optics* 46: 2717-2726
- [A-80] Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Wehner, R.; Horváth, G. (2007) Could Vikings have navigated under foggy and cloudy conditions by skylight polarization? On the atmospheric optical prerequisites of polarimetric Viking navigation under foggy and cloudy skies. *Proceedings of the Royal Society A* 463: 1081-1095
- [A-79] Hegedüs, R.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2007) Polarization of "water-skies" above arctic open waters: how polynyas in the ice-cover can be visually detected from a distance. *Journal of the Optical Society of America A* 24: 132-138
- [A-78] Kriska, G.; Bernáth, B.; Horváth, G. (2007) Positive polarotaxis in a mayfly that never leaves the water surface: polarotactic water detection in *Palingenia longicauda* (Ephemeroptera). *Naturwissenschaften* 94: 148-154 + cover picture
- [A-77] Clarkson, E.; Levi-Setti, R.; Horváth, G. (2006) The eyes of trilobites: The oldest preserved visual system. *Arthropod Structure and Development* 35: 247-259 (International Palaeontological Best Paper Award, Spanish Palaeontological Society)
- [A-76] Kriska, G.; Malik, P.; Csabai, Z.; Horváth, G. (2006) Why do highly polarizing black burnt-up stubble-fields not attract aquatic insects? An exception proving the rule. *Vision Research* 46: 4382-4386 + cover picture
- [A-75] Sabbah, S.; Barta, A.; Gál, J.; Horváth, G.; Shashar, N. (2006) Experimental and theoretical study of skylight polarization transmitted through Snell's window of a flat water surface. *Journal of the Optical Society of America A* 23: 1978-1988
- [A-74] Suhai, B.; Gasparik, M.; Csorba, G.; Geric, B.; Horváth, G. (2006) Wall thickness of gas- and marrow-filled avian long bones: Measurements on humeri, femora and tibiotarsi in crows (*Corvus corone cornix*) and magpies (*Pica pica*). *Journal of Biomechanics* 39: 2140-2144
- [A-73] Csabai, Z.; Boda, P.; Bernáth, B.; Kriska, G.; Horváth, G. (2006) A 'polarisation sun-dial' dictates the optimal time of day for dispersal by flying aquatic insects. *Freshwater Biology* 51: 1341-1350
- [A-72] Kriska, G.; Csabai, Z.; Boda, P.; Malik, P.; Horváth, G. (2006) Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarization signals. *Proceedings of the Royal Society B* 273: 1667-1671
- [A-71] Hegedüs, R.; Szél, G.; Horváth, G. (2006) Imaging polarimetry of the circularly polarizing cuticle of scarab beetles (Coleoptera: Rutelidae, Cetoniidae). *Vision Research* 46: 2786-2797
- [A-70] Hegedüs, R.; Horváth, G.; Horváth, G. (2006) Why do dusk-active cockchafers detect polarization in the green? The polarization vision in *Melolontha melolontha* is tuned to the high polarized intensity of downwelling light under canopies during sunset. *Journal of Theoretical Biology* 238: 230-244
- [A-69] Barta, A.; Horváth, G.; Meyer-Rochow, V. B. (2005) Psychophysical study of the visual sun location in pictures of cloudy and twilight skies inspired by Viking navigation. *Journal of the Optical Society of America A* 22: 1023-1034
- [A-68] Wildermuth, H.; Horváth, G. (2005) Visual deception of a male *Libellula depressa* by the shiny surface of a parked car (Odonata: Libellulidae). *International Journal of Odonatology* 8: 97-105
- [A-67] Évinger, S.; Suhai, B.; Bernáth, B.; Geric, B.; Pap, I.; Horváth, G. (2005) How does the relative wall thickness of human femora follow the biomechanical optima? An experimental study on mummies. *Journal of Experimental Biology* 208: 899-905

- [A-66] Suhai, B.; Horváth, G. (2004) How well does the Rayleigh model describe the E-vector distribution of skylight in clear and cloudy conditions? A full-sky polarimetric study. *Journal of the Optical Society of America A* 21: 1669-1676
- [A-65] Bernáth, B.; Suhai, B.; Gerics, B.; Csorba, G.; Gasparik, M.; Horváth, G. (2004) Testing the biomechanical optimality of the wall thickness of limb bones in the red fox (*Vulpes vulpes*). *Journal of Biomechanics* 37: 1561-1572
- [A-64] Hegedüs, R.; Horváth, G. (2004) How and why are uniformly polarization-sensitive retinæ subject to polarization-related artefacts? Correction of some errors in the theory of polarization-induced false colours. *Journal of Theoretical Biology* 230: 77-87
- [A-63] Hegedüs, R.; Horváth, G. (2004) Polarizational colours could help polarization-dependent colour vision systems to discriminate between shiny and matt surfaces, but cannot unambiguously code surface orientation. *Vision Research* 44: 2337-2348
- [A-62] Barta, A.; Horváth, G. (2004) Why is it advantageous for animals to detect celestial polarization in the ultraviolet? Skylight polarization under clouds and canopies is strongest in the UV. *Journal of Theoretical Biology* 226: 429-437
- [A-61] Bernáth, B.; Gál, J.; Horváth, G. (2004) Why is it worth flying at dusk for aquatic insects? Polarotactic water detection is easiest at low solar elevations. *Journal of Experimental Biology* 207: 755-765
- [A-60] Barta, A.; Horváth, G. (2003) Underwater binocular imaging of aerial objects versus the position of eyes relative to the flat water surface. *Journal of the Optical Society of America A* 20: 2370-2377
- [A-59] Horváth, G.; Buchta, K.; Varjú, D. (2003) Looking into the water with oblique head tilting: revision of the aerial binocular imaging of underwater objects. *Journal of the Optical Society of America A* 20: 1120-1131
- [A-58] Horváth, G.; Pomozi, I.; Gál, J. (2003) Neutral points of skylight polarization observed during the total eclipse on 11 August 1999. *Applied Optics* 42: 465-475
- [A-57] Barta, A.; Horváth, G.; Bernáth, B.; Meyer-Rochow, V. B. (2003) Imaging polarimetry of the rainbow. *Applied Optics* 42: 399-405
- [A-56] Horváth, G.; Bernáth, B.; Suhai, B.; Barta, A.; Wehner, R. (2002) First observation of the fourth neutral polarization point in the atmosphere. *Journal of the Optical Society of America A* 19: 2085-2099
- [A-55] Horváth, G.; Gál, J.; Labhart, T.; Wehner, R. (2002) Does reflection polarization by plants influence colour perception in insects? Polarimetric measurements applied to a polarization-sensitive model retina of *Papilio* butterflies. *Journal of Experimental Biology* 205: 3281-3298 + cover picture
- [A-54] Bernáth, B.; Szedenics, G.; Wildermuth, H.; Horváth, G. (2002) How can dragonflies discern bright and dark waters from a distance? The degree of polarization of reflected light as a possible cue for dragonfly habitat selection. *Freshwater Biology* 47: 1707-1719
- [A-53] Mizera, F.; Horváth, G. (2002) Influence of environmental factors on shot put and hammer throw range. *Journal of Biomechanics* 35: 785-796
- [A-52] Horváth, G.; Barta, A.; Gál, J.; Suhai, B.; Haiman, O. (2002) Ground-based full-sky imaging polarimetry of rapidly changing skies and its use for polarimetric cloud detection. *Applied Optics* 41: 543-559
- [A-51] Gál, J.; Horváth, G.; Barta, A.; Wehner, R. (2001) Polarization of the moonlit clear night sky measured by full-sky imaging polarimetry at full moon: comparison of the polarization of moonlit and sunlit skies. *Journal of Geophysical Research D (Atmospheres)* 106 (D19): 22647-22653
- [A-50] Pomozi, I.; Horváth, G.; Wehner, R. (2001) How the clear-sky angle of polarization pattern continues underneath clouds: full-sky measurements and implications for animal orientation. *Journal of Experimental Biology* 204: 2933-2942
- [A-49] Mizera, F.; Bernáth, B.; Kriska, G.; Horváth, G. (2001) Stereo videopolarimetry: measuring and visualizing polarization patterns in three dimensions. *Journal of Imaging Science and Technology* 45: 393-399
- [A-48] Pomozi, I.; Gál, J.; Horváth, G.; Wehner, R. (2001) Fine structure of the celestial polarization pattern and its temporal change during the total solar eclipse of 11 August 1999. *Remote Sensing of Environment* 76: 181-201
- [A-47] Gál, J.; Horváth, G.; Meyer-Rochow, V. B. (2001) Measurement of the reflection-polarization pattern of the flat water surface under a clear sky at sunset. *Remote Sensing of Environment* 76: 103-111

- [A-46] Gál, J.; Horváth, G.; Meyer-Rochow, V. B.; Wehner, R. (2001) Polarization patterns of the summer sky and its neutral points measured by full-sky imaging polarimetry in Finnish Lapland north of the Arctic Circle. *Proceedings of the Royal Society A* 457: 1385-1399
- [A-45] Bernáth, B.; Szedenics, G.; Molnár, G.; Kriska, G.; Horváth, G. (2001) Visual ecological impact of "shiny black anthropogenic products" on aquatic insects: oil reservoirs and plastic sheets as polarized traps for insects associated with water. *Archives of Nature Conservation and Landscape Research* 40(2): 89-109
- [A-44] Bernáth, B.; Szedenics, G.; Molnár, G.; Kriska, G.; Horváth, G. (2001) Visual ecological impact of a peculiar waste oil lake on the avifauna: dual-choice field experiments with water-seeking birds using huge shiny black and white plastic sheets. *Archives of Nature Conservation and Landscape Research* 40(1): 1-28
- [A-43] Gál, J.; Horváth, G.; Clarkson, E. N. K. (2000) Reconstruction of the shape and optics of the lenses in the abathochroal-eyed trilobite *Neocobboldia chinlinica*. *Historical Biology* 14: 193-204
- [A-42] Gál, J.; Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.; Haiman, O. (2000) Image formation by bifocal lenses in a trilobite eye? *Vision Research* 40: 843-853
- [A-41] Bernáth, B.; Horváth, G. (1999) Visual deception of a Great White Egret by shiny plastic sheets. *Ornis Hungarica* 8-9: 57-61
- [A-40] Horváth, G.; Wehner, R. (1999) Skylight polarization as perceived by desert ants and measured by video polarimetry. *Journal of Comparative Physiology A* 184: 1-7 [Erratum 184: 347-349 (1999)]
- [A-39] Kriska, G.; Horváth, G.; Andrikovics, S. (1998) Why do mayflies lay their eggs *en masse* on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts *Ephemeroptera*. *Journal of Experimental Biology* 201: 2273-2286
- [A-38] Horváth, G.; Gál, J.; Pomozi, I.; Wehner, R. (1998) Polarization portrait of the Arago point: Video-polarimetric imaging of the neutral points of skylight polarization. *Naturwissenschaften* 85: 333-339
- [A-37] Horváth, G.; Bernáth, B.; Molnár, G. (1998) Dragonflies find crude oil visually more attractive than water: Multiple-choice experiments on dragonfly polarotaxis. *Naturwissenschaften* 85: 292-297

2. INNOVÁCIÓ

2.1. Polarizációs böglyesapdák

Az első innovatív tevékenységhez vezető eredményem 2006 nyarán kezdődött egy kiskunhalasi temetőben, ahol azt vizsgáltam, hogy egyes szitakötők miért vonzódnak a fekete sírkövekhez. Kollégáimmal együtt terepkísérletekkel és képpalkotó polarimetriával igazoltam, hogy e vonzódás oka a szitakötők pozitív polarotaxisa (vízszintesen poláros fényhez való vonzódása) és a sima, fekete sírkövekről tükröződő erősen és vízszintesen poláros fény.¹ E kísérletek közben figyeltem meg, hogy a talajra terített, különböző fénypolarizáló-képességű tesztfelületek némelyikére nemcsak szitakötők, hanem böglyök is leszállnak. E megfigyelés egy újabb kísérletsorozathoz vezetett, aminek során kimutattuk, hogy a böglyök is vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez, azaz polarotaktikusak. Ezen eredményünket nemcsak egy nemzetközi referált folyóiratban közöltük², hanem az *Élet és Tudomány*ban is^{3,4}.

Az ismeretterjesztő cikknek köszönhetően alakult ki a Magyar Feltalálói és Kutató Központ Szolgáltató Kft. munkatársaival az a gyümölcsöző együttműködés, amelynek eredményeképpen 2009-ben elnyertünk egy 1 millió Euro összegű, három év futamidejű EuFp7-es kutatás-fejlesztési pályázatot a polarizációs böglyesapdánk prototípusainak kifejlesztésére.⁵ Mára e projekt keretein belül két csapdatípus piacérett új terméké fejlődött, amihez keressük a tőkeerős gyártókat.

2.2. Poláros fényszennyezés csökkentése depolarizáló rácshatással

Az elmúlt években aktívan vizsgáltam a vízirovarok polarotaxisát. Kollégáimmal együtt számos rovarfajról mutattam ki, hogy vizes élőhelyüket a vízfelszínről tükröződő, vízszintesen poláros fény alapján találják meg⁶, s ezért vonzza őket az ilyen fény, ami a háborítatlan természetben gyakorlatilag csak a vizek felületéről verődik vissza, ezért a pozitív polarotaxis a vizek megtalálásának igen hatékony módszere. Az emberi környezetben azonban rengeteg olyan mesterséges felület és tárgy fordul elő, amely szintén erősen és vízszintesen poláros fényt ver vissza, magához vonzva ezáltal a polarotaktikus rovarokat. Ilyen felületek és tárgyak például a

¹ Horváth, G.; Malik, P.; Kriska, G.; Wildermuth, H. (2007) Ecological traps for dragonflies in a cemetery: the attraction of *Sympetrum* species (Odonata: Libellulidae) by horizontally polarizing black gravestones. *Freshwater Biology* 52: 1700-1709 (impakt faktor = 3.082)

² Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, G. (2008) Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95: 1093-1100 (impakt faktor = 2.250)

³ Malik P., Horváth G., Kriska Gy., H. Wildermuth (2008) Szitakötők a temetőkben: polarizáló sírkövek. *Élet és Tudomány* 63: 1385-1388

⁴ Kriska Gy., Horváth G., Majer J., Szivák I., Horváth L. (2007) Poláros fényvel a böglyök ellen. *Vizuális ökológia. Élet és Tudomány* 62: 1549-1551 (Az ÉT-OTKA 2007. évi cikkpályázatán III. díjas dolgozat)

⁵ TabaNoid: Trap for the Novel Control of Horse-flies on Open-air Fields. No. 232366 Eu-FP7 pályázat: Research for the Benefit of Small and Medium Enterprises

⁶ Kriska, G.; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G. (2009) Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55: 1167-1173 (impakt faktor = 2.310)

kőolajfelületek, aszfalt utak, fekete műanyag fóliák, üvegfelületek, autókarosszériák, fekete sírkövek és napelemtáblák. A fényt erősen és vízszintesen polarizáló ilyen mesterséges felületek által megtévesztett vízirovarok e felületekhez vonzódnak, s gyakran a petéiket is rájuk rakják, miáltal az utódjaik a kiszáradás miatt menthetetlenül elpusztulnak. E polarizáló tárgyak ökológiai csapdának számítanak, amennyiben gyakran még a vízfelületeknél is nagyobb polarizációfokú fényt vernek vissza, ami ha vízszintes rezgésű, akkor a vízfelszínről tükröződő fényénél is jobban vonzza a polarotaktikus vízirovarokat. A mesterséges felületekről tükröződő vízszintesen poláros fénynek a polarotaktikus rovarpopulációkra kifejtett káros hatását poláros fényszennyezésnek hívjuk. Ezen új fogalmat mi vezettük be a nemzetközi⁷ és hazai⁸ szakirodalomba számos konkrét biofizikai és ökológiai példával illusztrálva. A poláros fényszennyezés a fénypolarizáló mesterséges felületek egyre szélesebb körű, globális elterjedése miatt egy rohamosan növekvő ökológiai probléma, ami súlyosan veszélyeztetheti a vízi ökoszisztémákat, ezért a csökkentése vagy kiküszöbölése fontos feladat. Ebben segít a poláros fényszennyezést csökkentő innovációnk:

Egy 2009-es nyári terepkísérletben Kriska György biológus kollégámmal együtt azt vizsgáltam, hogy mely polarotaktikus rovarok vonzódnak a fényt erősen és vízszintesen polarizáló napelemtáblákhoz. Meglepve tapasztaltuk, hogy habár a fölkinált tesztfelületek közül egy napelemtábla polarizálta a legerősebben a róla visszavert fényt, mégsem volt vonzó a polarotaktikus vízirovaroknak. E rejtély nyitjára akkor jöttünk rá, mikor a napelemtábla fehér, depolarizáló díszkeretét erősen polarizáló fekete ragasztószalaggal fedtük be. Ekkor már a napelemtábla lett a polarotaktikus rovarok számára a legvonzóbb. Egy vékony fehér keret tehát jelentősen lecsökkentette a napelemtábla polarotaktikus vonzókéességét. Az ezt követő célzott terepkísérletekben kimutattuk, hogy ha egy sima fekete, s így a fényt erősen polarizáló felületet megfelelően sűrű, vékony fehér vonalakkal álló ráccsal vonunk be, akkor a felület jelentősen vagy teljesen elveszíti a polarotaktikus rovarokra kifejtett vonzó hatását, azaz poláros fényszennyezését.⁹

E módszer egy új lehetőséget biztosít a poláros fényszennyezés csökkentésére vagy teljes kiküszöbölésére, amit 2009. februárjában az ELTE szolgálati szabadalmaként be is jelentettünk a Magyar Szabadalmi Hivatalnak *”Mintázat polarizált fényt visszaverő felülettel rendelkező tárgyhöz, ilyen mintázattal ellátott tárgy és eljárás poláros fényszennyezés csökkentésére”* címmel (P-6750R, feltalálók: Horváth Gábor, 50%, Kriska György, 50%).

Ezen innovációs tevékenységünk egy figyelemre méltó alaptudományi fejleményeként időközben kimutattuk, hogy a zebra és számos más csíkos mintázatú emlős állat már évmilliókkal előttünk *”kitalálták”* a poláros fényszennyezés fehér csíkokkal való csökkentését¹⁰:

⁷ Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Robertson, B. (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 317-325 (impakt faktor = 8.820)

⁸ Malik P., Horváth G., Kriska Gy., B. Robertson (2008) Poláros fényszennyezés: A környezeti ártalmak egy új formája. *Fizikai Szemle* 58: 379-386 + címlap + hátlap

9

Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, G.; Seres, I.; Robertson, B. (2010) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24: 1644-1653 + electronic supplement (impakt faktor = 4.894)

Horváth G., Kriska Gy. (2010) A napelem evolúciós csapdája. *Interpress Magazin* 30(1): 106-110

10

Egri Á., Horváth G., Kriska Gy., Farkas R., S. Åkesson (2010) Miért csíkos a zebra? A poláros fényszennyezés csökkentésének trükkje. *Természet Világa* 141: 498-502

Horváth G., Kriska Gy. (2010) A sírkövek és a zebra is sokat segíthetnek: A bögölycsapdától a poláros fényszennyezés csökkentési módjáig. *Napi Gazdaság* 20. évfolyam, 242. (5322.) szám, 2010. december 14., Melléklet: *Napi Innováció* IV. oldal

Terepkísérletekben igazoltuk, hogy a kültakaró csíkos mintázata jelentősen lecsökkenti a polarotaktikus böglyök vonzását. A sötét (barna vagy fekete) kültakarójú emlősök igen vonzóak a böglyök számára, s úgy is fogalmazhatunk, hogy azért, mert az ilyen sötét színű állatoknak nagy a poláros fényszennyezése¹¹. Az ős-zebrák sötétszürke, sötétbarna kültakaróval bírtak, s részben a poláros fényszennyezésük, s így nagy böglyölvonzó-képességük miatt fehér csíkokat fejlesztettek ki e probléma csökkentésére. Elmondhatjuk tehát, hogy a zebrák és más fajú csíkos társaik jóval az ember előtt "végezték el azt az innovációt", amit mi csak nemrég.

2.3. A múlt hírességeinek háromdimenziós megjelenítése

Doktoranduszaimmal, Egri Ádámmal és Blahó Miklóssal együtt fejlesztettünk ki egy új háromdimenziós megjelenítési eljárást "Hírességek háromdimenziós digitális panotikuma (*StereoPano*)" címmel, amivel diákjaim indultak az ELTE Pályázati és Innovációs Központja által 2011-ben meghirdetett "A mohóság jó!" című hallgatói innovatív ötletpályázaton, ahol dícséretben részesültek. Az erről szóló cikkünk a *Fizikai Szemle* folyóirat 2011 novemberi számában jelent meg [M-119].

A *StereoPano* egy folyamatosan bővülő adatbázis, melyben nemcsak élő személyek, hanem régi filmrészletekből rekonstruált, már elhunyt hírességek is helyet kapnak, ami nagy újdonság, hiszen a miénken kívül jelenleg nem létezik más olyan technika, amivel e már nem élő személyeket 3-dimenzióban lehetne megjeleníteni. Az idő múlásával a panoptikum adathalmaza egyre nagyobb és ezáltal értékesebbé, a kulturális örökség fontos részévé válhat, ráadásul ezen adatok számos jelenlegi és jövőbeli 3D-s technika (például 3D TV) számára is alkalmazhatók.

Módszerünkkel már nem élő személyek háromdimenziós látványa állítható elő kétdimenziós filmkockákból: Korábbi hagyományos filmfelvételekből kikeresünk olyan jeleneteket, melyek során a célszemély feje vagy egész teste forog, vagy valamekkora szögű fordulatot tesz meg. Az így adódó filmrészletet időkésleltetéses eljárással kivetítve, előáll a háromdimenziós látványélmény. Egyedül e módszerrel lehet úgymond "háromdimenziósan exhumálni a sírjukban forgó", már nem élő személyeket.

2.4. Az ELTE 2010. évi Innovatív Kutatói Díja

Az ELTE Innovációs Napján, 2011. február 23-án, *Az ELTE Innovatív Kutatója Díjjal* jutalmazták azon kutatókat, akik a 2010. évben a leginkább hozzájárultak ahhoz, hogy az intézményben keletkezett műszaki, természettudományi és informatikai tudás az egyetem érdekében hasznosuljon. Az Egyetemi Tanulmányi Testület egyöntetű javaslatára a közös kutatásért *Horváth Gábor* biofizikus (habilitált egyetemi docens, az MTA doktora; ELTE TTK Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium) és *Kriska György* biológus (egyetemi adjunktus,

Egri, Á.; Blahó, M.; Kriska, G.; Farkas, R.; Gyurkovszky, M.; Åkesson, S.; Horváth, G. (2011) Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization grating least attractive: An advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology* (submitted)

11

Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Gerics, B.; Farkas, R.; Åkesson, S. (2010) An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society B* 277: 1643-1650 (impakt faktor = 5.064)

Blahó M., Horváth G., Hegedüs R., Kriska Gy., Gerics B., Farkas R., S. Åkesson (2010) A lovak fehérségének egy nem várt előnye: A leginkább "böglyóálló" ló depolarizáló fehér szőrű, a fekete ló pedig szenved a polarizáló szőrének. *Fizikai Szemle* 60: 145-155 + címlap

Ph.D.; ELTE TTK Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport) vehette át az ELTE Innovatív Kutatója Díjat (lásd: <http://pik.elte.hu/interjuk>).

2.5. Nagylátószögű, polarizációs felhődetektor

Az ELTE 2011. szeptember 5-én nyújtotta be az "Eljárás felhőalap-távolság mérésére és berendezés égbolt-polarizáció mérésére" című találmányunkhoz kapcsolódó szabadalmi bejelentést (P1100482, feltalálók: Horváth Gábor, 35%; Barta András, 35%; Hegedüs Ramón, 15%; Suhai Bence, 15%). Ennek alapötlete Barta András, egykori diplomanduszom, majd doktoranduszom diplomamunkájának¹² és az abból írt magyar¹³ és angol¹⁴ nyelvű cikknek a témájával kapcsolatos.

A fény transzverzális elektromágneses hullám, melynek a hullámhosszán (színén) és intenzitásán (fényességén) túl a polarizáció-irány (rezgéssík iránya) és a polarizációfok (kitüntetett rezgéssíkú fény hányada) is a jellemzője. A poláros égboltfény jellegzetes polarizációs mintázattal rendelkezik, ami függ a Nap helyzetétől, a levegőbeli aeroszol mennyiségétől, valamint a felhők jelenlététől és a felhőalap magasságától. Hagyományos fényképezési technikákkal csak az égboltfény hullámhossza és intenzitása mérhető, az égbolt polarizációs mintázatának méréséhez képalkotó polariméterre van szükség, mely egy megfelelő polarizációs szűrőkkel ellátott, 180° látószögű optikával bíró digitális fényképezőgép.

A találmány alapját egy nagy(180°)látószögű képalkotó polariméter képezi, ami a teljes égboltról készít polarizációs felvételeket (legalább 3 lineáris és 1 cirkuláris polárszűrőn át), amelyekből egy számítógépes programmal képpontról képpontra meghatározható az égboltfény intenzitása, polarizáció-iránya és polarizációfoka a spektrum vörös (650 nm), zöld (550 nm) és kék (450 nm) tartományában. Ha megfelelő színekódolással megjelenítjük a polarizációfok és polarizáció-irány mintázatait (kétdimenziós eloszlásait), azokon az égbolt színes fényképéhez hasonlóan, egy megfelelő számítógépes algoritmussal fölismerhetők a felhők, mert a felhők többé-kevésbé módosítják a tiszta égboltra jellemző polarizációs mintázatokat. Egy másik eljárással az égboltfény mért polarizációs információinak fölhasználásával a felhős égbolt színes fényképének kontrasztja minden képpontban jelentősen növelhető azáltal, hogy a spektrum egy adott csatornájában a polarizációfokkal arányos mértékben csökkentjük a fényintenzitást. A kontrasztot ugyanis a felhő és a megfigyelő (polariméter) közti légrétegben szóródó, részlegesen lineárisan poláros fénynek a felhő saját fényéhez való hozzákeveredése csökkenti. A találmányunk szerinti számítógépes algoritmussal e zavaró poláros komponens vonható ki részben az égboltfényből, miáltal a felhős égről olyan színes képet kapunk, mintha nem lenne köztünk és a felhők között a párák, aeroszolos levegő. Egy ilyen polarizációs információkat fölhasználó módszerrel megtisztított (kontrasztnövelt) képen úgy látszanak a felhők, mintha a zavaró párákat és a levegőbeli fényszórást okozó zavaró aeroszolt "elfűjtük volna". Az így kontrasztnövelt ("párátlanított" és "aeroszoltalanított") képen a hagyományos fotometrikus (csak a fény intenzitását és színét

¹² Barta András (2001) Felhőészlelés a földről 180° látószögű képalkotó polarimetriával. Diplomamunka, ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Budapest, 45 o.

¹³

Barta A., Horváth G., Gál J., Suhai B., Haiman O. (2001) Felhőészlelés a földről 180° látószögű képalkotó polarimetriával. I. rész *Fizikai Szemle* 51: 315-319

Barta A., Horváth G., Gál J., Suhai B., Haiman O. (2001) Felhőészlelés a földről 180° látószögű képalkotó polarimetriával. II. rész *Fizikai Szemle* 51: 355-362

¹⁴ Horváth, G.; Barta, A.; Gál, J.; Suhai, B.; Haiman, O. (2002) Ground-based full-sky imaging polarimetry of rapidly changing skies and its use for polarimetric cloud detection. *Applied Optics* 41: 543-559 (impakt faktor = 1.703)

fölhasználó) eljárásokkal ismerhetők fel a felhők, de sokkal nagyobb pontossággal, mint az eredeti, meg nem tisztított képen.

Találmányunk szerint tehát az extra polarizációs információk jól felhasználhatók a felhők jelenlétének kimutatásához, javítva a felhődetekció pontosságát, megbízhatóságát. Találmányunk lehetőséget ad a felhők relatív térbeli helyzetének meghatározására is, mert a felhős égbolt polarizációfokának a tiszta égboltéhoz képesti változása arányos a polarizációfokot módosító felhő alapjának magasságával, vagyis az adott irányban a megfigyelő (polariméter) és a felhő közti légréteg vastagságával. Az égbolt-polarizációt is felhasználó algoritmussal detektált felhők és felhőalap ismeretében már egy bizonyos szempontok szerinti felhőosztályozás is elvégezhető, vagyis egy felhőről a jelenléte, alakja, mérete és alapjának magassága mellett a típusára (például gomoly vagy fátyol felhő) is következtethetünk. E felhőosztályozásban a felhőzöttség mért eloszlására a találmányunk szerint valamilyen mesterséges intelligencia módszert (például tanítható neurális hálózatot és/vagy genetikus algoritmust) használunk, hogy a sok független mért optikai jellemzőjű égboltfényről minél optimálisabban dönthessük el, hogy az égbolt felhős vagy tiszta részéről jön-e. Eddig több olyan képalkotó polarimétert is építettünk már, s próbáltunk ki sikerrel számos helyen (Magyarországon, Finnországban, Svédországban, Tunéziában, Svájcban, az Északi-sarkvidéken és az Atlanti óceánon több hazai és nemzetközi expedíción és mérőkampányban), melyekkel megvalósítható a felhők polarizációs információkat is felhasználó detekciója. Többször is bebizonyosodott, hogy a képalkotó polarimetriával mért égbolt-polarizáció alkalmazása gyakran jelentősen segíti a felhők fölismerését, és a felhőalap magasságát csak a polarizációfok ismeretében lehet megbecsülni. Találmányunk lehetővé teszi továbbá, hogy a kontrasztnövelt, és a felhőkről relatív térbeli információkat is hordozó égboltképek segítségével lényegesen könnyebben készíthessük el a helyi égbolt abszolút térbeli (3D) rekonstrukcióját.

2.6. Napelemes bögölycsapdák

Az Európai Unió támogatással folyó TabaNOid polarizációs bögölycsapdáink kutatása és fejlesztése során adódott azon ötlet, hogy a polarotaktikus böglyöket egy napelem poláros jelével vonzzuk egy adott helyre és a napelem által termelt elektromos áram felhasználásával pusztítsuk el őket. Az előzetes újdonságkutatás pozitív eredménye után az újabb szabadalmi bejelentésünk folyamatban van.



EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

tudományos, kutatásszervezési és innovációs ügyek
rektorhelyettese

1056 Budapest, Szerb u. 21-23.

HORVÁTH GÁBOR innovációs tevékenységének méltatása

A XXI. század meghatározó felsőoktatási intézményei a tudásközvetítés napjainkban elterjedt, egyes tudományterületekre koncentráció értelmezése tekintetében küldetésüknek tekintik az egyetemi kutatási eredmények gazdasági és üzleti hasznosításának elősegítését, és az innovációs kultúra terjesztését a felsőoktatási intézmények polgárai körében. A világ vezető intézményei által diktált versenyben egyetlen hazai tudományegyetem sem engedheti meg magának, hogy az oktatás és a kutatás mellett ne használja ki az innováció biztosította gazdasági előnyöket is. Ehhez a felsőoktatásban szemléletmód-váltásra és olyan oktatókra van szükség, akik nemcsak gyakorolják az innovációs tevékenységet, de a hallgatók figyelmét is ráirányítják a hasznosítás lehetőségére, az innováció fontosságára.

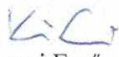
Horváth Gábor docens egyetemünkön azon kevesek közé tartozik, akik már évekkel ezelőtt fölismerték a kutatási eredmények hasznosításának az alapvetési tevékenység mellett egyre fontosabb forrásteremtő szerepét. Az alapvetési eredmények gyakorlati alkalmazásának lehetőségeit nemcsak saját, hanem a munkatársai kutatásaiban is észrevette. Az általa vezetett Környezetoptika Laboratórium szép példája a tudományterületeken és országokon átívelő, nemzetközi színvonalú kutatásnak, a szinergikus hatások kiaknázásának, az innovációs lehetőségek megvalósításának. Irányításával fizikusok, biológusok és meteorológusok dolgoznak együtt közös kutatási és fejlesztési feladatok megoldásán.

Fontosnak tartjuk kiemelni, hogy Horváth Gábor több korábbi tanítványa hozott létre sikeres kutató-fejlesztő-hasznosító vállalkozást, amelyek azóta is számíthatnak tudományos iránymutatására, segítségére. Alkalmazott kutatási eredményeinek és egyre bővülő számú találmányainak köszönhetően nemrég az Európai Unió belül is jelentős összegű pályázati támogatást sikerült elnyernie.

Társadalmi szerepvállalása kiterjed mind az alapvetési, mind az alkalmazott eredmények népszerűsítésére. Ezirányú tevékenységéből kiemeljük egy online információs oldal létrehozásának szorgalmazását a gazdasági döntéshozók számára, amelyen az általa felfedezett poláros fényszennyezés megakadályozására szolgáló módszerekhez hasonlóan megjelenhetnek az életminőséget javító, környezetvédelmet szolgáló kutatási eredmények.

Horváth Gábor innovációs tevékenységét a nemzetközi szakmai közösség korábban már a rangos Gábor Dénes díjjal, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora pedig ebben az évben az ELTE innovatív kutatója címmel ismerte el.

Meggyőződésünk, hogy Horváth Gábor az innováció terén kifejtett iskolateremtő munkássága alapján is méltán számít egyetemünk legkiválóbb oktatói és kutatói közé. Mindezek alapján melegen támogatjuk egyetemi tanári kinevezése céljából benyújtott pályázatát.


Keszey Ernő
tudományos, kutatásszervezési
és innovációs ügyek rektorhelyettese




Antoni Györgyi
pályázati és innovációs
igazgató

 411-6500/3180 E-mail: kutrh@elte.hu

3. TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTÉS

1984, 1985, illetve 1986 óta publikálok rendszeresen az *Élet és Tudomány*, *Természet Világa* és *Fizikai Szemle* folyóiratokban, valamint néhány más magyar nyelvű ismeretterjesztő (*Interpress Magazin*), illetve szakmai (*Léggör*, *Állattani Közlemények*, *Hidrológiai Közöny*, *Acta Biologica Debrecina*, *Napi Innováció*) folyóiratban.

Cikkeimmel többször nyertem el a *Természet Világa* cikkpályázat I. és II. helyezését (1985, 1995, 1996, 1998, 1999), valamint egyszer a *Fizikai Szemle* nível-díját (1988). Ezen ismeretterjesztő tevékenységem okán 1998-tól a *Természet Világa*, 2008-tól pedig a *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsági tagjává választottak. Ismeretterjesztő cikkeim 23-szor az azt közlő folyóiratban címlapfotóval együtt jelentek meg (<http://arago.elte.hu> / [Covers and Title Pages](#) / [Hungarian Journals](#)).

3.1. Élet és Tudomány

Az alábbi dokumentumban az *Élet és Tudomány*beli ismeretterjesztői tevékenységemet méltatja a főszerkesztő, Gózon Ákos.

3.2. Természet Világa

A *Természet Világa* folyóirathoz több mint három évtizedes szoros kapcsolat fűz. 1980/1981-ben 4. osztályos gimnazistaként nyertem I. helyezést a *Természet Világa* I. megfigyelési versenyén, ami egy évig folyt a Radnai Gyula által havonta kitűzött három kísérleti feladat megoldásával, melynek megoldásait a lap rendszeresen közölte. 20 évvel később, 2000/2001-ben Radnai Gyulával együtt szerveztem meg a lap 12 hónapig tartó II. megfigyelési versenyét.

Mióta a *Természet Világa* szerkesztőbizottságának tagja vagyok (1998-tól), rendszeresen bírálok el szakmailag a lapba benyújtott, különféle témájú kéziratokat. Mikor 1994-ben hazatértem a németországi Tübingeni Egyetem Biokibernetika Tanszékéről, rávettem annak magyar származású tanszékvezetőjét, Varjú Dezső professzort, hogy alapítson egy biofizikai témájú különdíjat a *Természet Világa Természet-Tudomány Diákpályázatán*, amit immáron 1991. óta írnak ki évente magyarországi és külhoni (felvidéki, kárpátaljai, erdélyi és délvidéki) magyar középiskolások számára. E cikkpályázat biofizikai zsűrijének elnökeként nemcsak bírálok, hanem javítom, szerkesztem és sajtó alá is rendezem a díjnyertes diákok dolgozatait.

Mint ahogyan az *Élet és Tudomány*beli egyik cikkem hozzásegített egy fontos nemzetközi (Európai Unió EuFP7-es) kutatás-fejlesztési pályázati támogatáshoz, úgy a *Természet Világa* diákpályázata eddig már kétszer is segített a kutatói utánpótlásban (Buchta Krisztián és Hegedüs Ramón tanítványaim esetében).

3.3. Fizikai Szemle

A *Fizikai Szemle* számára rendszeresen írok cikkeket és bírálok el a *Szemlébe* küldött kéziratokat, valamint magam is vadászok a *Szemlébe* való kéziratokra, minden alkalmat megragadva, hogy kollégáimat, hallgatóimat cikkírássra buzdítsam. Eddig háromszor voltam vendégszerkesztője a *Fizikai Szemle* biológiai fizika tematikus számainak: az 1996. évi 6. (júniusi) és 7. (júliusi), valamint a 2008. évi 11. (novemberi) számoknak.

ÉLET és TUDOMÁNY

SZERKESZTŐSÉGE

Budapest, VIII., Bródy Sándor u. 16.

Telefon: 338-3957 ■ Telefax: 338-2472

Levélcím: 1428 Bp., Pf. 47.

Méltatás

Dr. Horváth Gábor

tudományos ismeretterjesztői munkásságáról

Dr. Horváth Gábor a tudomány iránt érdeklődő széles közönség, benne az *Élet és Tudomány* olvasói számára jól ismert és egyben igen elismert tudománynépszerűsítő személyiség.

Légköroptikai vizsgálatairól rendszeresen és folyamatosan közöl magas színvonalú, a legújabb tudományos eredményeket közérthető formában bemutató írásokat hetilapunk hasábjain.

Kiváló kapcsolatot ápol a tudományos szerkesztőkkel, más műhelyek munkatársaival is. Rendszeres előadója a tudományos újságírók szakmai rendezvényeinek.

Külön figyelmet szentel annak, hogy a kutatói utánpótlás nevelése során kiválasztott tanítványait, fiatalabb kollégáit is bevezesse a tudománynépszerűsítés rejtelmeibe.

Tudománykommunikációs eddigi életművét a legmelegebben ajánlom a T. Bírálók figyelmébe.

Budapest, 2011. augusztus 18.



Gózon Ákos
Főszerkesztő
Élet és Tudomány
ÉLET ÉS TUDOMÁNY
SZERKESZTŐSÉGE
Bp., 1088 Bródy Sándor u. 16.

**DR. HORVÁTH GÁBOR ismeretterjesztő tevékenysége,
a Természet Világa tudományos ismeretterjesztő folyóirat szemszögéből**

A Természet Világa (korábbi nevén Természettudományi Közlöny) a világ egyik legrégebb tudományos ismeretterjesztő folyóirata. A fizikus Szily Kálmán alapította 1869-ben. A folyóirat a természettudományos kultúrát terjeszti hazánkban, a tudományterületek közötti információcserét segíti, magas színvonalú, nyelviileg is igényes, tudományos ismeretterjesztő írásokkal. Szerzői között egykoron és ma is megtalálható a magyar természettudományos műszaki értelmiség legjava. A folyóirat munkáját 27 tagú, kutatókból álló szerkesztőbizottság segíti. Szerkesztőbizottságunk élén az elmúlt tíz évben Szentágothai János, Császár Ákos, Gergely János akadémikusok álltak, jelenleg Vizi E. Szilveszter az elnökünk. Ennek a szerkesztőbizottságnak a tagja immár 13. éve Horváth Gábor.

Mondhatjuk, Horváth Gábor a mi felfedezettünk, hiszen gimnazistaként első díjat nyert a Természet Világa akkor induló fizikai megfigyelési versenyén. Ötletesen összeállított kísérleteire, szépen leírt megfigyeléseire, s az azokra adott találó magyarázataira már akkor felfigyeltünk, s többet közülük közreadtunk folyóiratunkban. Pályafutását azóta követjük, első nagyobb cikkét egyetemistaként írta lapunkba. Ezt az írást újabban követték, Horváth Gábor rendszeres szerzőnké vált. Folyóiratunkhoz fűződő diákkori élményét nem felejtette el, ennek tulajdonítható, hogy németországi tanulmányútja során tübingeni tanszékvezetőjét, Varjú Dezső professzort rábeszélte arra, hogy a Természet Világa középiskolások számára évről évre kiírt cikkpályázatán biofizikai-biokibernetikai különdíjat alapítson 1995-ben. Ezt a díjat máig kiadjuk tehetséges középiskolás diákszerzőinknek.

Horváth Gábort szerkesztőbizottságunk 1998-ban választotta tagjai sorába. Elmondhatom, hogy ott ő a legaktívabbak közé tartozik. Segítségére, bírálataira mindig számíthatunk, s ha cikkszerzőinket tanártovábbképző rendezvényekre hívják előadást tartani, első szóra jön velünk.

Jóleső érzéssel látjuk, miként figyel a tehetséggondozásra, maga köré gyűjtve, segítve azokat a fizikusjelölteket, akikben fantáziát és munkakedvet lát. Azt pedig külön elismerésre méltónak tartom, hogy tanítványait is a tudomány anyanyelvünkön történő továbbadására buzdítja. Nem sajtóítja ki a közös kutatásaik során végzett munkájukat, ellenkezőleg, maga mellé emelve őket, mindig is a teljes csapatnévsor alatti publikálást szorgalmazza.

Bízom abban, hogy a legnagyobbjainkat (Rényi Alfréd, Szentágothai János, Marx György, Simonyi Károly...) jellemző, a tudományukat közkinccsé tevő hajlandóság a tudományos előmenetelkor is pozitív tettek minősül.

Budapest, 2011. július 26.



Staar Gyula
Staar Gyula
főszerkesztő



Posta: 1371 Budapest, Pf. 433
Telefon/fax: (1) 201-8682

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

az Eötvös Loránd Fizikai Társulat folyóirata

<http://www.fizikaiszemle.hu>
szerkesztok@fizikaiszemle.hu

Főszerkesztő:
Szatmáry Zoltán

Horváth Gábor Fizikai Szemlében kifejtett több évtizedes publikációs tevékenységének méltatása

Horváth Gábor 1986 óta a *Fizikai Szemle* rendszeresen publikáló szerzői közül kiemelkedik megjelent írásainak számát, illetve azok sikerességét tekintve is. Ez utóbbi különösen fontos, mert egy szakmai ismeretterjesztő folyóirat – mint a *Fizikai Szemle* – akkor töltheti be jól a feladatát, ha írásaival magas szakmai színvonalon érdeklődést tud kelteni.

Horváth Gábor titka a jó témaválasztás, a cikk tárgyának pontos bemutatása, a kifejtés követhetősége, meggyőző ábrák, táblázatok, valamint az olvasó önbizalmának megerősítése: a szerző meggyőzi olvasóját arról, hogy a cikkben tárgyalt probléma áttekintésére ő is képes; a feladat fáradságos, de úgy tűnik, hogy megoldható, további önálló munkára serkentő. Legtöbb cikke társszerzőkkel készül, munkatársai és tanítványai részvétele az eredményes csapatmunka meggyőző bizonyítéka.

A *Fizikai Szemle* minden évben megkérdezi olvasóit egyebek közt arról, hogy melyik írás tetszett leginkább. Sajnos az olvasók sajnálják az időt vagy a válaszbélyeget, ezért rendszeresen húsz körüli válasszal kell beérni. Így gyakran fordul elő, hogy az egyik legnépszerűbb írás szerzője Horváth Gábor és kollégái. Ami különösen jó ebben, hogy minden esetben tudományos igényességgel készített írásokról van szó.

A cikkírás mellett Horváth Gábor rendszeresen bírál el a *Fizikai Szemlé*be benyújtott kéziratokat, valamint ösztönzi fizikus kollégáit cikkek írását a *Szemle* számára. E fontos tevékenységével jól betölti szerepét Lapunk szerkesztőbizottságában.

Budapest, 2011. augusztus 31.

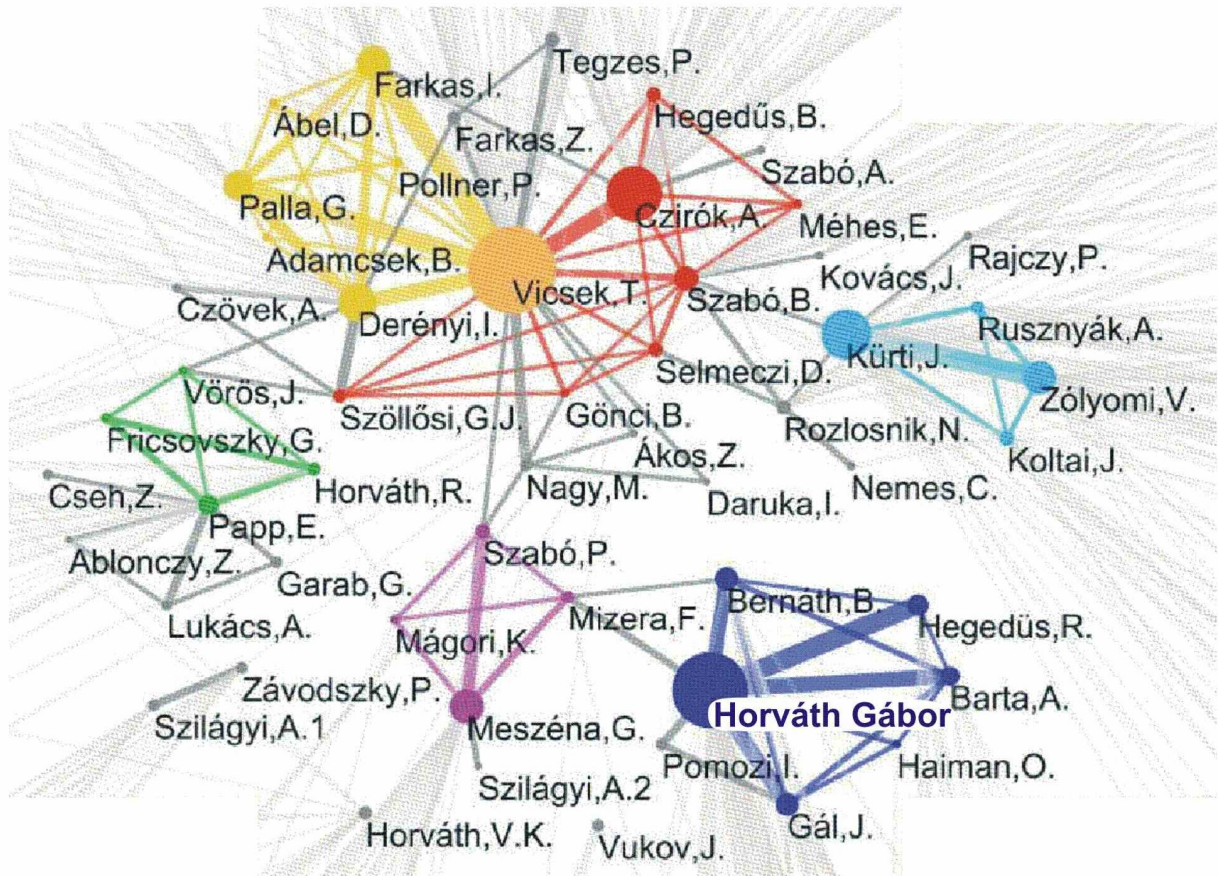

Prof. Szatmáry Zoltán
főszerkesztő


Dr. Füstöss László
szerkesztő


Kármán Tamás
technikai szerkesztő

4. PUBLIKÁCIÓS AKTIVITÁS

A Biológiai Fizika Tanszék 2008. május 22-én ünnepelte fennállásának 10. évfordulóját, mely alkalomból egy kiadvány is született¹⁵. E kiadványban szerepelt a tanszék oktatóinak és kutatóinak 1998-2008 közti szakmai kapcsolathálózatát és publikációs aktivitását szemléltető alábbi ábra.



Az ELTE Biológiai Fizika Tanszék publikációs hálózata 1998-2008 között, ahol a korongok átmérője és az összekötő vonalak szélessége a publikációk számával arányos, a különböző publikációs csoportokat pedig eltérő színek jelölik.

¹⁵ The first 10 years of the Department of Biological Physics at the Institute of Physics, Eötvös University 1998-2008 (Jenő Kürti, ed.) Eötvös University, Budapest