

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította  
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LXII. évfolyam

7–8. szám

2012. július–augusztus

## A CIRKULÁRISAN FÉNYPOLARIZÁLÓ SZKARABEUSZOK NEM REAGÁLNAK A CIRKULÁRIS POLARIZÁCIÓRA – I. RÉSZ Egy évszázados biooptikai hipotézis cáfolata

Blahó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor

Környezetoptika Laboratórium, Biológiai Fizika Tanszék, ELTE, Budapest

Hegedüs Ramón

Számítógépes Látás és Robotika Csoport, Gironai Egyetem, Girona, Spanyolország

Kriska György

Biológiai Szakmódszertani Csoport, Biológiai Intézet, ELTE, Budapest

Jósvai Júlia, Tóth Miklós

Növényvédelmi Intézet, Agrártudományi Kutatóközpont, MTA, Budapest

Kertész Krisztián, Biró László Péter

Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Természettudományi Kutatóközpont, MTA, Budapest

*A cirkulárisan poláros fény természetben előforduló legerősebb ismert forrása a szkarabeuszok (Scarabaeidae) családjába tartozó bogarak fémszínű kitinpáncéljáról visszavert fény. Albert Abraham Michelson Nobel-díjas amerikai fizikus 1911-ben fedezte föl, hogy bizonyos szkarabeusz bogarak fémes fénye balra cirkulárisan poláros. 1844 óta ismert, hogy a cirkulárisan poláros fény az emberi szemben egy sajátos vizuális illúziót kelt. Néhány éve mutatták ki, hogy egyes tengeri sáskararak képesek érzékelni a fény cirkuláris polarizációját. Mindezidáig az volt a széles körben elfogadott vélekedés, hogy azok a cirkulárisan poláros fényben szegény optikai környezetben élő szkarabeuszok, amelyek páncélja balra cirkulárisan poláros fényt ver vissza, képesek is érzékelni azt, és e vizuális jel segíti őket a fajtársak megtalálásában. E föltételezést teszteltük hat kísérletben négy különböző szkarabeusz-faj (Anomala dubia, Anomala vitis, Cetonia aurata, Potosia cuprea) több száz egyedével. Kísérleteink eredményeiből azt a következtetést vontuk le, hogy a vizsgált négy szkarabeusz-faj nem reagál, nem vonzódik a cirkulárisan poláros fényhez a fajtársak vagy a táplálék keresése közben. Megmutattuk, hogy a vizsgált szkarabeuszok gazdanövényei cirkulárisan polarizálatlan*

*fényt vernek vissza. Michelson fölfedezésének 100 éves évfordulójára cáfoltuk azon régi hipotézist, hogy a szkarabeuszok kitinpáncéljáról tükröződő fény cirkuláris polarizációja e bogarak vizuális kommunikációját szolgálja. Ezzel egyben új utak nyíltak e jelenség további magyarázatainak kutatására. Cikkünk I. részében a szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének hipotézisét ismertetjük, majd leírjuk e probléma vizsgálatára elvégzett kísérleteinket. Cikkünk II. részében a kísérleti eredményeinket mutatjuk be és azokat vitatjuk meg.*

### A szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének évszázados hipotézise

A cirkulárisan poláros (CP) fény előfordulása a természetben igen ritka a többnyire részlegesen lineárisan poláros fényéhez képest [1]. A biotikus környezetünkben leginkább két szentjánosbogárfaj (*Photuris lucifera*, *Photuris versicolor*) méltó említésre, amelyek bal és jobb oldali világítószerve rendre balra és jobbra cirkulárisan poláros fényt bocsát ki [2]. Azonban ezen élő fényforrások cirkuláris polarizációjának funkciója

(ha egyáltalán van) egyelőre ismeretlen. Bizonyos rákok kettőstörő meszes páncélja ugyancsak CP-fényt ver vissza [3]. Számos fémfényű szkarabeusz bogárfaj koleszterikus folyadékkristályokéhoz hasonló szerkezetű kitinpáncéljáról balra cirkulárisan poláros (BCP) fény verődik vissza [4, 5] (1.a–d ábra).<sup>1</sup> A természetben nagyon ritka, hogy valami CP-fényt verjen vissza, a szkarabeuszfélék természetes élőhelyén pedig egyáltalán nem fordul elő CP-fény (1.e–f ábra).

Korábban ugyan ismeretes volt, hogy néhány állatfaj képes CP-fényt kibocsátani vagy visszaverni, azonban e tulajdonságok lehetséges biológiai szerepe teljesen ismeretlen volt. Korábban nem voltak információink arról, hogy ezen állatok érzékelik-e a CP-fényt. Bár már korábban megfigyelték [6], hogy a CP-fénnyel ingerelt emberi szem a lineárisan poláros fény által kiváltott Haidinger-féle pamacsokhoz hasonló vizuális illúziót észlel [7], egyes állatfajok cirkulárispolarizáció-látását csak a közelmúltban fedezték föl: kiderült, hogy a *Gonodactylus smithii* sáskarák képes fotoreceptor szinten érzékelni a CP-fényt, és páncéljának külső oldala CP-fényt ver vissza, továbbá laboratóriumi etetéskor kondicionálni lehet az ilyen fényre [8].

Annak ellenére, hogy a *Gonodactylus smithii* tengeri optikai környezetében a CP-fény polarizációfoka igen alacsony, e sáskarákok rendelkeznek cirkulárispolarizáció-érzékeléssel. Ezért kézenfekvőnek tűnt a gondolat, hogy a BCP fémfényű szkarabeusz bogarak (1.a–d ábra) az egyébként CP-fényben szegény optikai környezetükben (1.e–f ábra) talán szintén képesek érzékelni a cirkuláris polarizációt és például párkeresésnél hasznosítani e képességüket. Egy módszertani hibáktól terhes kísérletben [9] a *Chrysinia gloriosa* szkarabeusz állítólag reagált a CP-fényre. Ha a szkarabeuszkok képesek lennének érzékelni a kitinpáncéljukról visszaverődő CP-fényt (1.a–d ábra), akkor e képességük nagy hasznukra lehetne abban, hogy egymásra találjanak az egyébként cirkulárisan polarizálatlan vizuális környezetükben (1.e–f ábra), miközben a CP-fényre érzéketlen ragadozók elől rejte maradnának. Ekkor egyes szkarabeuszkok kitinpáncéljának zöld mivolta rejtőszíneként működhetne, egymás visszavert fényének cirkuláris polarizációját pedig könnyen észrevehetnék, mivel a környezetük cirkulárisan polarizálatlan.

A *Cetonia* és *Anomala* nemzetségbe tartozó, CP-fényt tükröző szkarabeuszfélék igen elterjedtek a Földön, és a mezőgazdaságra nézve gyakran kártékonyak. Mostanáig a cirkulárispolarizáció-érzékelésüket senki sem vizsgálta. Ezen úr betöltésére hat kísérletet végeztünk négy szkarabeuszfajjal (*Anomala dubia*, *Anomala vitis*, *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*), hogy megvizsgáljuk, vajon érzékelik-e a cirkuláris polarizációt, és ha igen, fölhasználják-e azt a táplálék-, illetve párkeresésükben. Azért e fajokat választottuk, mert olyan kitinpáncéljuk van, ami erősen balra cirkulárisan polarizált fényt ver vissza (1.a–d ábra) és Magyarországon má-

justól júliusig könnyen begyűjthetők. Hogy demonstráljuk a kültakarójuk cirkulárispolarizáló-képességét, képalkotó polarimetriával mértük e bogarak és tápnövényeik polarizációs mintázatait [4].

Bizonyos szkarabeuszfajok kitinpáncéljának azon tulajdonságát, hogy BCP-fényt ver vissza Michelson [5] fedezte föl 1911-ben. Egészen 2011-ig, vagyis 100 éven keresztül azt gondolták, hogy e bogarak cirkuláris fénypolarizáló jellegének valamilyen vizuális, optikai szerepe van. Száz évvel Michelson fölfedezése után megmutattuk [10], hogy a szkarabeuszkokról visszaverődő fény cirkuláris polarizációjának nincs ilyen vizuális szerepe.

## A szkarabeuszkok cirkulárispolarizáció-érzékelésének kísérleti vizsgálata

Cikkünkben a következő nevezéktant használjuk: egy balos cirkuláris (BC) polárszűrő elnyeli a balra cirkulárisan poláros (BCP) fényt és átengedi a jobbra cirkulárisan poláros (JCP) fényt. Hasonlóan, egy jobbos cirkuláris (JC) polárszűrő elnyeli a JCP-fényt és átengedi a BCP-fényt. Egy cirkuláris polárszűrő a cirkuláris polarizátor fordítottja, kiegészítője: egy BC-polarizátor átengedi a BCP-fényt és elnyeli a JCP-fényt, míg egy JC polarizátor átengedi a JCP-fényt és elnyeli a BCP-fényt.

Az 1. kísérletet 2009. május 8. és 10. között végeztük laboratóriumunkban, minden nap 10:00 és 15:00 óra között (UTC+2h) 120 darab *Cetonia auratával* (65 nőstény, 55 hím), amelyeket 2009. május 7-én gyűjtöttünk a terepen. A bogarakat együtt tartottuk néhány virágzó galagonya ág mellett egy üveg terráriumban természetes megvilágítás mellett, ahol többen párosodtak. A teszt előtt 6 órával a bogarakat áthelyeztük egy üres, áttetsző, fehér műanyag dobozba. A teszt-kamra egy papírdobozból állt (50×50×30 cm), aminek belső falait matt fehér papír fedte. A doboz egyik függőleges falán két tesztablak volt kivágva (15×15 cm) egymástól 20 cm-re (2. ábra). Mindkét tesztablakot homogén, szórt fehér fény világította meg, ami a laboratórium fehér függönyén (2×2 m) keresztül szűrődött be. Az egyik tesztablakban egy BC-polárszűrő (vastagság = 0,8 mm, típus: P-ZN/L-43186, Schneider, Bad-Kreuznach, Németország) volt elhelyezve, míg a másikban egy JC-polárszűrő (vastagság = 0,8 mm, típus: P-ZN/R-12628, Schneider). A polárszűrők külső felületét egy depolarizáló fehér papírlap borította, hogy a kívülről jövő, polárszűrőre eső fény teljesen polarizálatlan legyen. A teszt-kamra alját egy fehér papírlap borította, amit minden egyes teszt után kicseréltünk az esetleges szagnyomok eltávolítása érdekében. A teszt-kamra alján a két ablakkal szemközt levő oldalon volt a bogárindító hely, amire egy papírhengert lehetett ráhúzni (magasság = 2 cm, átmérő = 5 cm). Egy teszt első lépéseként egy bogarat tettünk a teszt-kamra indító helyére, majd letakartuk a hengerral. A bogarat a hátára helyeztük, ezzel motiválva mozgásra. 1 perc várakozás után a hengert eltávolítottuk, majd a bogár –

<sup>1</sup> Az írás ábrái kivételesen folyóiratunk közepén, a színes mellékletben láthatók (a műszaki szerkesztő).

miután lábra állt – elindult a szemközi fal felé. Egy *Cetonia* futtatása akkor ért véget, mikor a szemközi fal BC- vagy JC-polárszűrős ablakához ért. Minden egyes bogár csak egyszer vett részt a kísérletben. A JC- és BC-polárszűrők bal-jobb helyét véletlenszerűen cseréltük föl a futtatások között. A végén összeszámoltuk, hogy hányszor választották a bogarak a BC-, illetve JC-polárszűrős ablakot.

A 2. kísérletet a *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeuszfajokkal végeztük. A *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea* és *Anomala vitis* teljes (háti és hasi) kitingpáncélja fémes zöld és erősen BCP-fényt ver vissza (1.a–c ábra). Az *Anomala dubia* barna fedőszárnya gyengén, míg a többi testrésze erősen BCP-fényt ver vissza (1.d ábra). 2010. április 26-án 11:00 és 12:00 óra (UTC+2h) között 196 rajzó *Cetonia aurata*t (nőstények, hímek vegyesen) fogtunk a terepen (Törökmező: 47° 88' N, 18° 93' E), ahol galagonyabokrok (*Crataegus monogyna*) virágoztak. A befogott bogarakat Gödön természetes fényben, kartonpapírok között, átlátszó műanyag edényekben tartottuk, amelyek fedelét szellőzést szolgáló lyukak borították. Itt többük párosodott is. Táplálékként almaszeleteket tettünk az edényekbe. 2010. április 27-től 29-ig naponta 10:00 és 16:00 óra (UTC+2h) között minden egyes bogarat háromszor futtattunk egy teszt dobozban (3.a–f ábra).

A teszt doboz egy lapos henger volt (magasság = 10 cm, átmérő = 60 cm), ami 6 sugárirányú főszelektorból állt, amelyeket a mennyezetről lelógó függőleges falak (26×10 cm) választottak el egymástól. A mennyezet (sugár = 30 cm) közepén egy 5 cm átmérőjű lyuk volt. Minden egyes főszelektort két alszelektorra osztott egy rövidebb (13×13 cm) függőleges fal. Minden alszelektor végén egy-egy függőleges fal volt, belső felén egy színes képpel (7,5×13 cm), amit egy cirkuláris polárszűrő fedett, s e szendvicset egy 2 mm vastag üveglap szorította a falhoz. Egy adott szektor bal, illetve jobb ablakában rendre egy BC (P-ZN/L-43186) és egy JC (P-ZN/R-12628) polárszűrő volt. A teszt doboz anyaga 5 mm vastag tejfehér áttetsző műanyag volt, ami a bejövő fényt teljesen depolarizálta. Egy adott kísérletben a teszt doboz minden ablakában (6×2 = 12 db) ugyanolyan színes kép volt: a kísérlet 1., 2. és 3. részében a képeken (1) egy galagonyavirágon (*Crataegus monogyna*) ülő *Cetonia aurata* (3.g ábra), (2) galagonyavirágok és levelek (3.b ábra), és (3) egy virágzó galagonyabokor (3.i ábra) szerepelt. A teszt előtt 6 órával a bogarakat áthelyeztük egy üres, áttetsző, fehér műanyag dobozba. A kísérlet során, ami egy gödi kertben szabad téren zajlott, a bogarakat egy vízszintes falap közepére helyeztük, letakartuk egy átlátszatlan hengerrel (átmérő = 4,5 cm, magasság = 17 cm), amire aztán ráhelyeztük a teszt dobozt. A bogárindító henger tetejét a kísérletet végző személy a tenyerével takarta le 30 másodpercig. Utána a hengert eltávolította és kezdetét vette a futtatás: (i) A kísérletben szereplő bogár (kezdetben a teszt doboz közepén állva) a 6 főszelektor bármelyikét választhatta, aminek irányába kezdett el mászni vagy

repülni. (ii) Minden főszelektorból még választhatott a jobb, illetve bal oldali ablakok közül, amelyekben ugyanaz a kép volt egy BC és egy JC polárszűrő mögött. A bogár viselkedését a teszt dobozban a közepén lévő kör alakú nyíláson át követtük nyomon. Mikor a bogár (mászással vagy repüléssel) elérte az ablakok valamelyikét egy adott főszelektorból (20–200 másodperc alatt), a kísérlet véget ért. Ekkor a bogarat eltávolítottuk, az alul lévő falapot egy etil-alkoholos ronggyal letöröltük a szagnyomok eltüntetése céljából. Minden futtatás a teszt doboz véletlenszerű orientációjával történt, miáltal a soron következő bogár az előzőhöz képest elforgatott teszt dobozban került tesztelésre. Az egész kísérletet háromszor ismételtük meg (2010. április 27., 28., 29. 10:00–16:00) három különböző színes képpel a szektorok ablakaiban (3.g–i ábra). A kísérlet alatt néhány *Cetonia* elszökött, így a bogarak száma fokozatosan csökkent ( $N = 196, 141, 131$  rendre az 1., 2. és 3. rész kísérletben).

2010. június 30. és július 2. között az előbbi kísérlet első részét 100–100 *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal ismételtük meg, amely bogarakat szagcsapdákkal fogtunk (lásd: 4. kísérlet), és a *Cetonia aurata*hoz hasonló módon a laboratóriumban tartottuk. Számos példány párosodott a fogságban töltött idő alatt. E kísérletek a laboratóriumban folytak a fehér függönyön át beszűrődő fény és lekapcsolt lámpák mellett. A teszt doboz a labor közepén helyezkedett el, mind a 12 ablakában egy-egy virágzó galagonyabokrot ábrázoló színes fényképpel (3.i ábra).

A 3. kísérletet a laboratóriumban végeztük 2010. július 3. és 8. között szagcsapdákkal (lásd: 4. kísérlet) fogott 100–100 *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal. A bogarakat természetes fényben, kartonpapírok között, átlátszó műanyag edényekben tartottuk a laboratóriumban, ahol többük párosodott is. Táplálék gyanánt almaszeleteket adtunk nekik. A teszt előtt 6 órával a bogarakat áthelyeztük egy üres, áttetsző, fehér műanyag dobozba. Minden egyedet csak egyszer teszteltünk a 4. ábrán látható teszt dobozban.

A teszt doboz három fő részből állt: (1) A választótér, ahol a bogár útvonalával kifejezésre juttatta választását (hossz = 20 cm, szélesség = 30 cm, magasság = 20 cm) és az indítóhely, ahonnan egy átlátszatlan henger (magasság = 21 cm, átmérő = 4 cm) eltávolításával indult a teszt 30 másodperc várakozás után, ami alatt a bogár kicsit megnyugodott. A bogár egy vízszintes papírlapon közelíthette meg a választótér végén lévő két ablak valamelyikét, néha azonban odarepült. Minden egyes teszt után a papírlapot kicseréltük a szagnyomok eltüntetése végett. A bogárindító henger eltávolítása után a doboz tetején lévő kör alakú nyíláson át figyeltük a bogár viselkedését. Egy adott teszt akkor ért véget, amikor a bogár elérte a kis kartonfalat (szélesség = 14 cm, magasság 1,5 cm) a választótér végén, ahol a jobb, illetve bal oldali, csaliként szolgáló szkarabeusz tetemek térrésze volt. (2) A választótérből nyílt a vizuális ingereket tartalmazó jobb és bal oldali ingertérfél, amelyeket

egy kis kartonlap határolt el a választótérrel. A bal ingertérfél (hossz = 21 cm, szélesség = 14,5 cm, magasság = 10 cm) gyakorlatilag üres volt, a szemközti falán egy kivehető kartonlappal. E kartonlapon egy nőstény és egy hím szkarabeusztetem volt fölragasztva abból a fajból, amivel éppen a kísérlet folyt. A vizuális inger szerepét játszó két szkarabeusztetemet négy fénydióda (két OSSV53E1A UV-kék LED 400 nm-es csúccsal a spektrumában és két 530XW8C fehér LED) világította meg a doboz mennyezetéről. (3) A jobb ingertérfél két részből állt: az alsó részben (hossz = 10 cm, szélesség = 14,5 cm, magasság = 10 cm) a vízszintessel 45°-os szöveget bezáró síktükör (13,5×14,5 cm) volt. A felső rész egy toronyból állt, aminek tetején egy ugyanolyan cserélhető kartonlap helyezkedett el a vizuális ingerként szolgáló szkarabeusztetem-párral, mint a bal oldalon. A jobb ingertérfelet a bal ingertérfélével egyező négy fénydióda világította meg a mennyezetről, a tükrön keresztül. A síktükör szerepe az volt, hogy a torony tetején levő szkarabeusztetemekről visszaverődő BCP-fényt JCP-fénnyé alakítsa át a spektrum megőrzésével. A síktükör 45°-os dőlésszögének köszönhetően a választótérben tartózkodó élő bogár elé táruroló látvány a jobb és bal ingertérfélben azonos volt. Az egyetlen különbséget a bal és jobb oldal között a szkarabeusztetemekről visszaverődő fény polarizációjának BCP, illetve JCP volta jelentette (5. ábra).

E kísérlet alatt a bogarak két lehetőség közül választhattak: a bal ingertérfélbeli fajtárs szkarabeusztetemet, amelyekről BCP-fény verődött vissza, vagy pedig a jobb ingertérfél tükrében JCP-fényűnek látszó fajtárs szkarabeusztetemet. A teszt doboz barna kartonpapírból állt, aminek belső felületét matt fehérre festettük, minimálisra csökkentve a fényvisszaverődésekből származó zavaró polarizációs jeleket a doboz belsejében. Mivel a vizuális csalítárgyakként szolgáló szkarabeusztetemek nem voltak teljesen egyformák (apróbb méret-, szín-, fényesség- és anatómiai különbségek miatt), ezért minden 5. teszt után a jobb és bal kartonlapkára ragasztott szkarabeusztetem-párt fölcseréltük egymással (egy adott szkarabeuszfaj 100 egyede esetén 100/5 = 20 csere történt).

A 4. kísérletben azt vizsgáltuk, hogy a szkarabeusztetemekről visszaverődő BCP-fény képes-e odacsalni a szabadban élő szkarabeuszokat. Két szagcsapdás kísérletet végeztünk, az elsőt *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeuszokkal, a másodikat pedig *Cetonia aurata* bogarakkal. Az MTA Növényvédelmi Kutatóintézetéből (NKI) származó CSALOMON® VARb3 típusú szagcsapdákat használtunk (6. ábra), amelyek korábban már nagyon hatékonyak bizonyultak [11]. A kísérlet a következőkből állt: (A) a csapdák átlátszó műanyag tölcserének belső falára szkarabeusztetemeteket (*Cetonia aurata*, *Anomala vitis*: 8-8 darab, *Anomala dubia*: 10 darab) ragasztottunk (Super Bond, Henkel Ltd., Dublin). E bogártetemek szagkibocsátásának kizárására – a fölragasztásuk előtt – 5 percig hexán-fürdőbe helyeztük azokat. A szkarabeusztetemeteket egymástól 1-2 cm távolságban ragasztottuk a tölcser közepére. (B) Negatív kontroll-

ként szkarabeusztetemek nélküli üres csapdákat helyeztünk ki. (C) Pozitív kontrollként szkarabeusztetemek nélküli, de szintetikus vonzó szagokat kibocsátó csapdákat használtunk.

Vonzó szagok gyanánt a kereskedelemben is kapható CSALOMON® szaganyagokat használtunk. Az *Anomala*-csapdák az *Anomala vitis/dubia* szexferomonját árasztották ki, aminek köszönhetően csak hím *Anomala* szkarabeuszokat fogtak. A háromkomponensű virággillatot kibocsátó *Cetonia*-csapdák hím és nőstény *Cetonia* szkarabeuszokat fogtak közel 1:1 arányban. Mindkét kísérleti elrendezés 3-3 egyforma blokkból állt, minden blokkban egymástól 10-15 m-re kihelyezett csapdákkal, a blokkok pedig 30-50 m távolságra voltak egymástól. A csapdákat hetente kétszer ürítettük. Az *Anomala*-csapdás kísérletet Halászteleken, egy meggyfás gyümölcsöskertben végeztük 2010. június 21. és 28. között. A csapdák a fák ágain fügtek 1,5 m magasan. A *Cetonia*-csapdás kísérletet 2010. június 10. és 25. között az MTA NKI budapesti Júlia majorjában végeztük egy tölgyerdő szélén, ahol főleg vadrózsák (*Rosa canina*) és galagonyák (*Crataegus*) fordultak elő. A csapdákat itt is a bokrok nap-sütötte ágaira függesztettük 1,5 m magasságban.

Az 5. és 6. kísérlet előkísérleteként megvizsgáltuk, hogy a tesztelt szkarabeuszok rendelkeznek-e pozitív fototaxissal. Ehhez a 6. kísérletben használt teszt dobozt használtuk azzal a módosítással, hogy az egyik ablakot eltakartuk egy fekete kartonlappal. Ekkor a bogarak egy sötét ablak és egy polarizálatlan fényt beengedő világos ablak közül választhattak. Az előkísérlet során véletlenszerűen változtattuk, hogy épp melyik oldal legyen sötét, illetve világos. Az 5. és 6. kísérletben csak azon bogarakat teszteltük, amelyek az előkísérletben a világos ablakot választották, pozitív polarotaxist mutatva (85-90%). Ezen előzetes tesztek megmutatták, hogy a fényerősség, a kísérleti doboz mérete és a bogarak állapota megfelelő volt az 5. és 6. kísérletbeli viselkedési jellemzők megfigyeléséhez.

Az 5. kísérletet a laboratóriumban végeztük 2011. június 15. és 30. között 100-100 *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal. Ekkor a 2. kísérletben használt teszt dobozt (3.a-c ábra) használtuk azon különbséggel, hogy minden főszeletben a bal ablakból BCP-fény, a jobb ablakból pedig a vízszintessel 45° polarizációs szögű, teljesen lineárisan poláros fény szűrődött be (7. ábra). Minden ablakban egy virágzó galagonyabokor színes képe volt (3.i ábra), ami minden bal alszeletben egy BC polárszűrőn keresztül volt látható (a  $\lambda/4$ -es retarder lemez a bogár felé nézett, míg a lineáris polárszűrő a kép felőli oldalon volt), míg a jobb alszeletben egy fordított BC polárszűrőn keresztül (a lineáris polárszűrő a bogár oldalán, a  $\lambda/4$ -es retarder pedig a kép felőli oldalon). Ebben az elrendezésben a vizuális inger mutató ablakok spektrális összetevői (intenzitás, szín) azonosak voltak, az egyetlen különbséget a polarizáció jelentette (BCP és teljesen lineárisan poláros). A további részletek a 2. kísérletével voltak azonosak.

A 6. kísérletet 2011. július 1. és 15. között végeztük a laboratóriumban 100-100 *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* szkarabeusszal. Egy egyetlen főszeletoros tesztdobozt használtunk, amiben az egyik oldali ablakból BCP, míg a másik oldaliból polarizálatlan fény szűrődött be (8. ábra). Mindkét ablakban egy BC polárszűrő és egy fehér depolarizátor papírlap volt. A doboz belsejéből nézve az egyik oldalon a BC polárszűrő volt elől, mögötte pedig a depolarizátor. A másik oldalon ez az elrendezés fordított volt. Így az ingerablakok spektrális összetevői (intenzitás, szín) azonosak voltak, az egyetlen különbséget a polarizáció jelentette (BCP és teljesen polarizálatlan). A kísérlet során az ablakok szűrőfedését véletlenszerűen cseréltettük. A doboz anyaga matt barna farostlemez volt, ami a belső fényvisszaverődésekből eredő zavaró poláros tükröződések kizárta. A további részletek a 2. kísérletével voltak azonosak.

*Képpalkotó polarimetria és visszaverődési spektrumok:* a laboratóriumban képpalkotó polarimetriai méréseket végeztünk, aminek technikai részleteit [4] tartalmazza. A következőket mértük: (i) *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*, *Anomala vitis* és *Anomala dubia* kitinpáncéljáról visszaverődő erősen BCP-fény (1.a–d ábra), (ii) cirkulárisan polarizálatlan fény visszaverődése galagonya- és vadrózsalevelekről (1.e ábra), valamint a vizsgált szkarabeuszok 12 további gazdanövényének leveleiről (1.f ábra). A bogarakat és leveleket egy ablak fehér függönyén átszűrődő teljesen polarizálatlan fehér fény világította meg. A vizsgált szkarabeuszok kitinpáncéljának visszaverődési spektrumát egy, az ultraibolya és látható spektrumban működő üvegszálás spektrométerrel (Avaspec 2048/2) mértük polarizálatlan megvilágítás mellett [12].

A statisztikai elemzéseket a Statistica 7.0 (egyutas ANOVA és  $\chi^2$  teszt) és a StatView 4.01 (nem-parametrikus Kruskal–Wallis-teszt) programokkal hajtottuk végre.

## Irodalom

- Horváth, G.; Varjú, D.: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York, 2004.
- Wynberg, H.; Meijer, E. W.; Hummelen, J. C.; Dekkers, H. P. J. M.; Schippers, P. H.; Carlson A. D.: Circular polarization observed in bioluminescence. *Nature* 286 (1980) 641–642.
- Neville, A. C.; Luke, B. M.: Form optical activity in crustacean cuticle. *Journal of Insect Physiology* 17 (1971) 519–526.
- Hegedüs, R.; Szél, G.; Horváth, G.: Imaging polarimetry of the circularly polarizing cuticle of scarab beetles (Coleoptera: Rutelidae, Cetoniidae). *Vision Research* 46 (2006) 2786–2797.
- Michelson, A. A.: On metallic colouring of birds and insects. *Philosophical Magazine* 21 (1911) 554–567.
- Shurcliff, W. A.: Haidinger's brushes and circularly polarized light. *Journal of the Optical Society of America* 45 (1955) 399.
- Haidinger, W.: Über das direkte Erkennen des polarisierten Lichts und der Lage der Polarisationssebene. *Annalen der Physik und Chemie* 63 (1844) 29–39.
- Chiou, T. H.; Kleinlogel, S.; Cronin, T.; Caldwell, R.; Loeffler, B.; Siddiqi, A.; Goldizen, A.; Marshall, J.: Circular polarization vision in a stomatopod crustacean. *Current Biology* 18 (2008) 429–434.
- Brady, P.; Cummings, M.: Differential response to circularly polarized light by the jewel scarab beetle *Chrysina gloriosa*. *The American Naturalist* 175 (2010) 614–620.
- Blahó, M.; Egri, Á.; Hegedüs, R.; Jósavai, J.; Tóth, M.; Kertész, K.; Biró, L. P.; Kriska, G.; Horváth, G.: No evidence for behavioral responses to circularly polarized light in four scarab beetle species with circularly polarizing exocuticle. *Physiology and Behavior* 105 (2012) 1067–1075. + electronic supplement
- Imrei, Z.; Tóth, M.; Tolasch, T.; Francke, W.: 1,4-Benzoquinone attracts males of *Rhizotrogus vernus* Germ. *Zeitschrift für Naturforschung* 57C (2001) 177–181.
- Biró, L. P.; Kertész, K.; Vértesy, Z.; Márk, G. I.; Bálint, Z.; Lousse, V.; Vigneron, J. P.: Living photonic crystals: butterfly scales – nanostructure and optical properties. *Material Science and Engineering C* 27 (2007) 941–946.

# A TUDOMÁNYTÖRTÉNÉSZ ID. SZILY KÁLMÁN

Gazda István  
Magyar Tudománytörténeti Intézet

A fizikaprofesszorként elismert *id. Szily Kálmán* (1838–1924) műegyetemi éveiben kezdett el foglalkozni tudománytörténeti kérdésekkel és ilyen jellegű vizsgálódásainak korai eredményeit még a közreműködésével összeállított *Műegyetemi Lapok* 1876–1878-as évfolyamaiban tette közzé.

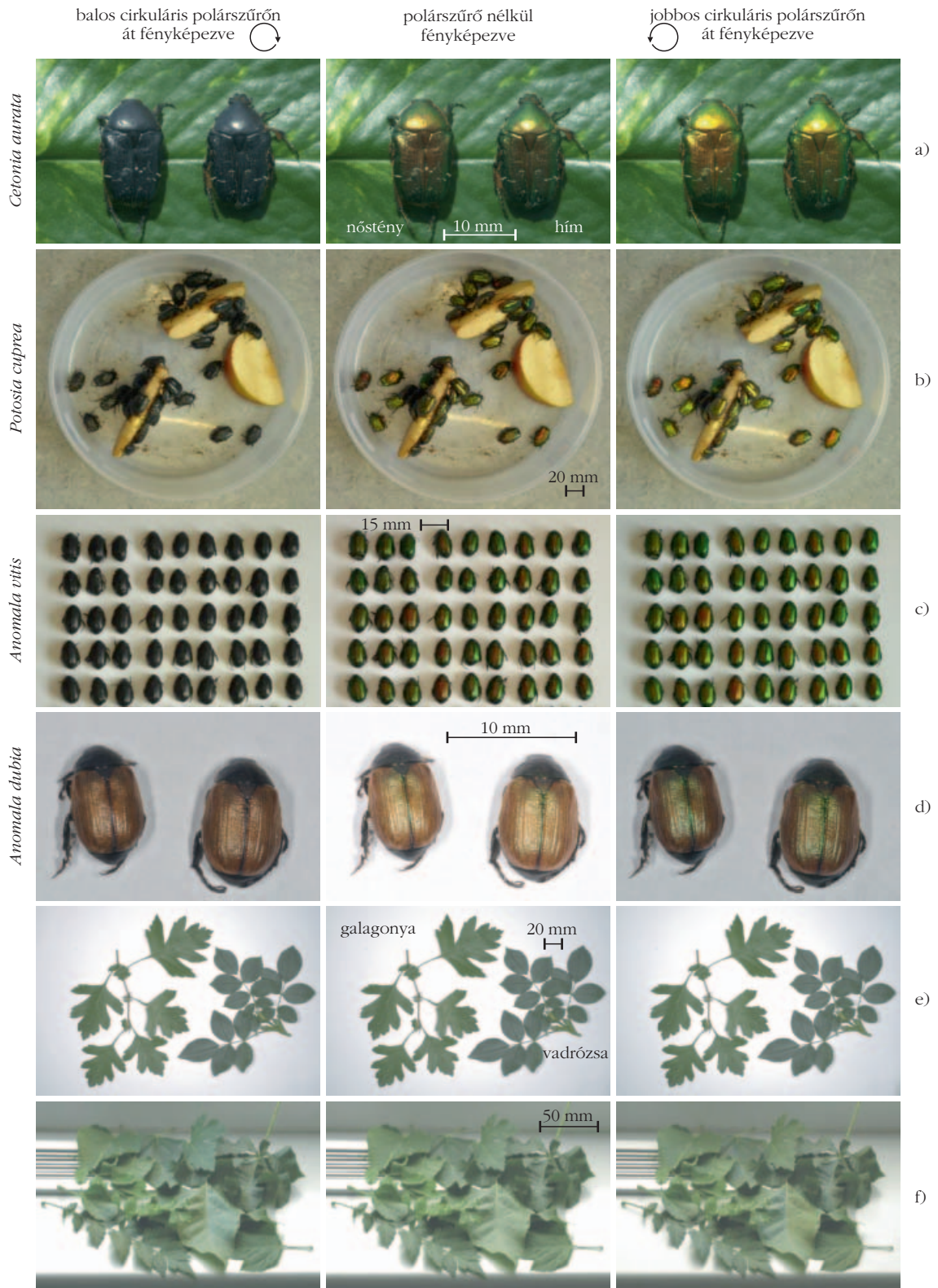
## Kutatásai az első magyar nyelvű matematikakönyvről (1577)

Ezekben az években elsősorban matematikatörténeti kérdésekkel foglalkozott, igyekezett választ adni arra, hogy vajon melyik lehetett a legrégebb magyar matematikakönyv és azt mely összeállítások követték. Arra a következtetésre jutott, hogy az 1577-ben Debrecenben

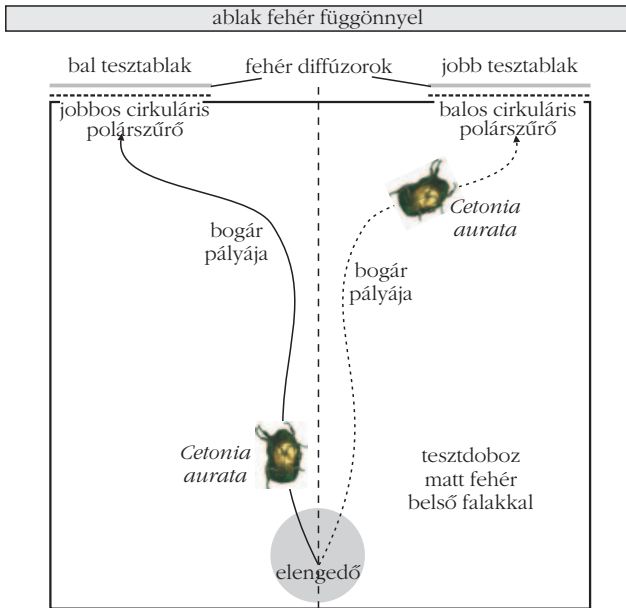
megjelent aritmetika a legrégebb magyar nyelvű matematikai kiadványunk, amelynek szerzője „úgy adta el kötetét”, hogy címlapjára ráírta, miszerint az *Gemma Frisius* nemzetközi hírű művének magyar változata. Szily azonban összevetette a magyar kiadást Frisiuséval, s megállapította, hogy a debreceni kiadványnak nincs köze az idézett munkához, Frisius nevét azért írták a címdalra, hogy a mű kelendőbb legyen. A kötetben a szerző vagy fordító neve nem szerepel, így a matematikatörténészeknek azóta is sok gondot okoz, valójában mi lehet azon mű forrása, amelyet 1577-ben magyarított formában adtak közre Debrecenben.

Jelen sorok szerzőjének véleménye az, hogy valószínűleg egy lengyel munka magyar fordításáról van szó, hiszen akkoriban számos lengyel kalendáriumot fordítottak le magyarra, komoly kapcsolataink alakul-





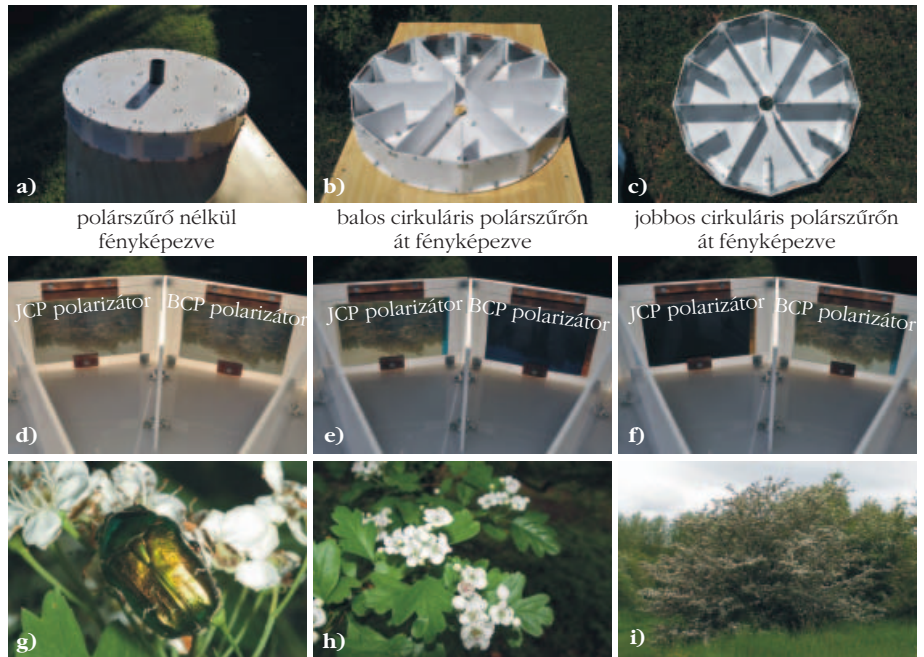
1. ábra. Szkarabeusz bogarak fotói (a, c, d: elpusztult egyedek; b: élő bogarak, amelyek almával táplálkoznak a műanyag tartóedényükben) és frissen vágott gazdanövényeik polárszűrő nélkül (középső oszlop), valamint balos (bal oszlop) és jobbos (jobb oszlop) cirkuláris polárszűrőn át fényképezve. A bal és jobb oszlopokban a kerek nyilak mutatják a szűrők által átteresztett poláros fény cirkulációs irányát. Fontos megjegyezni, hogy egy BC, illetve JC polárszűrő JCP-, illetve BCP-fényt ereszt át, míg megakadályozza a BCP-, illetve JCP-fény átjutását. a) *Cetonia aurata* (bal: nőstény, jobb: hím) egy szobai futóka (*Epipremnum pinnatum*) levélen, b) *Potosia cuprea*, c) *Anomala vitis*, d) *Anomala dubia*, e) galagonya (*Crataegus monogyna*) és vadrózsa (*Rosa canina*) levelek, valamint f) tizenkét különböző zöld növény levele: fekete nyár (*Populus nigra*), platan (*Platanus acerifolia*), lisztes berkenye (*Sorbus aria*), mezei juhar (*Acer campestre*), kislevelű hárs (*Tilia cordata*), madárberkenye (*Sorbus aucuparia*), vadcserezsnye (*Prunus avium*), ecetfa (*Rhus typhina*), mezei szil (*Ulmus campestris*), japánakác (*Sophora japonica*), szelídgesztenye (*Castanea sativa*), közönséges nyír (*Betula pendula*).



2. ábra. Az 1. kísérlet elrendezése felülnézetben.



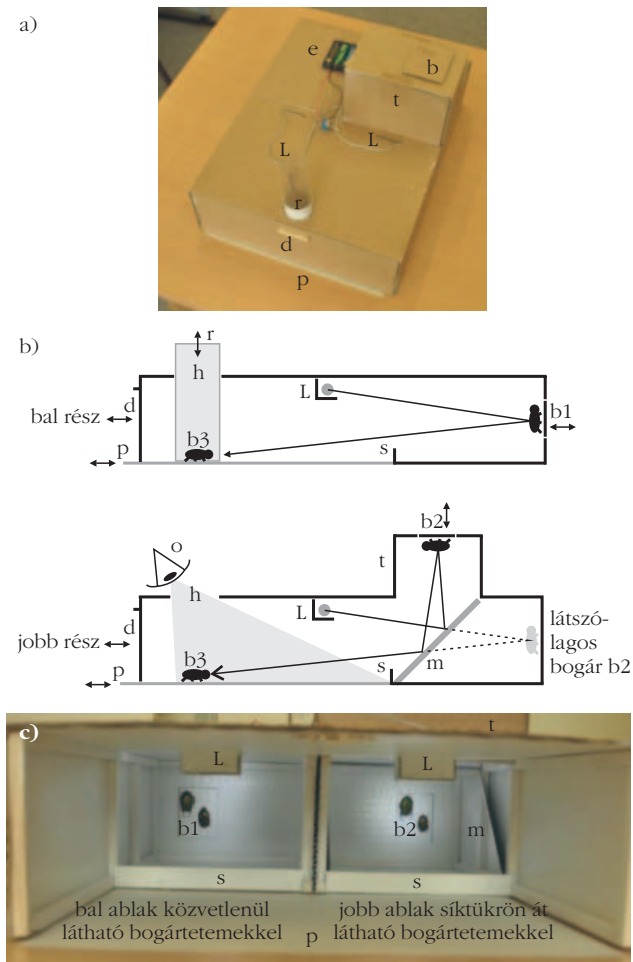
3. ábra. a–f) a 2. kísérletben használt teszt doboz fölépítése. a) a normál helyzetű teszt doboz, közepén a bogárindító hengerrel. b–c) a fejtetőre állított teszt dobozban jól megfigyelhető a 6 főszelet és a 12 ingerablak oldalnézetben (b), és felülnézetben (c). d–f) egy főszelet két JC és BC polárszűrővel ellátott ingerablakának fényképe. A fotózás során a fényképezőgép optikája előtt nem volt polárszűrő (d). Az ingerablakok fotózásakor a fényképezőgép optikája előtt egy BC polárszűrő (e), illetve egy JC polárszűrő (f) volt. g–i) egy virágzó galagonyán táplálkozó rózsabogár (g), egy virágzó galagonyára (h) és egy virágzó galagonyabokor (i) fényképe.



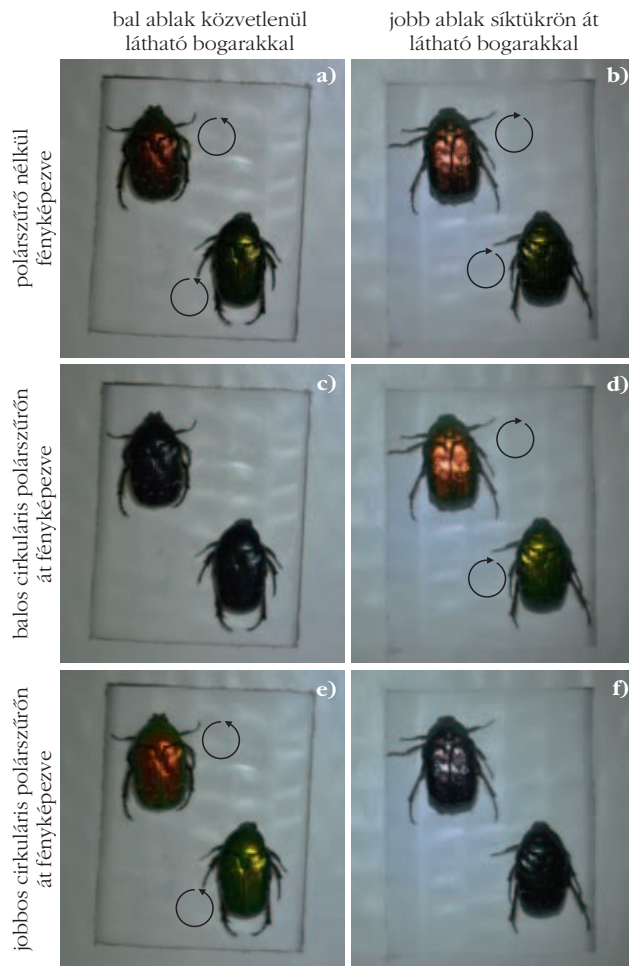
Jobbra fent és alul polárszűrővel valamint anélkül fényképezett színpompás szkarabeuszok (*Cetonia aurata*).



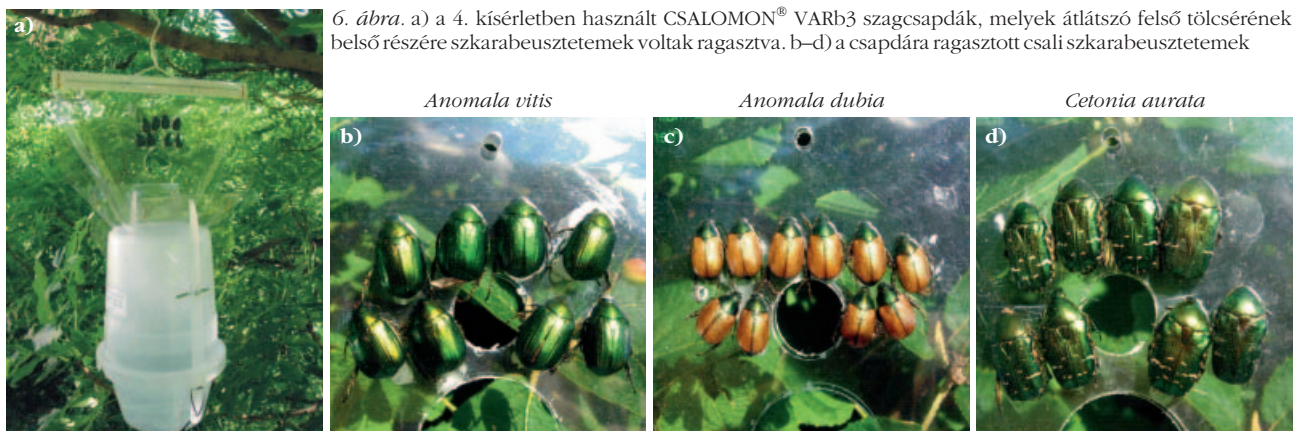




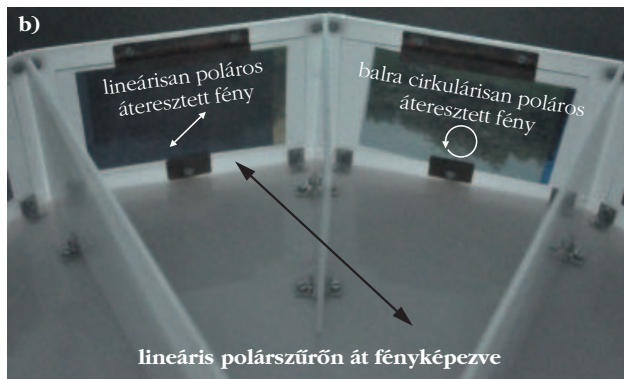
4. ábra. A 3. kísérletben használt teszt Doboz fölépítése. a) a teszt Doboz felülnézetben – d: ajtó, p: papírlap, r: bogárindító henger, L: fénydiódák, e: a fénydiódákat működtető elektromos elemek, t: torony, b: bogártetemetek hordozó cserélhető ablak. b) a teszt Doboz bal és jobb felének keresztmetszeti rajza mutatja a belső szerkezetet. A kettősfejű nyílakkal jelzett részek kivethetők – h: a vizsgált bogár megfigyelését biztosító kerék kémlelőnyílás; b3: élő tesztbogár; s: a tesztkamrát lezáró kartonpapírgát; b1: a bogártetemetek közvetlenül mutató lapka; o: megfigyelő személy; m: ferde síktükör; b2: a bogártetemeteket a ferde síktükörben mutató lapka JCP fényingere a toronyban lévő bogártetemek kitenpáncéljáról származik, amely BCP-fény a tükröződés után JCP-fénnyé válik.



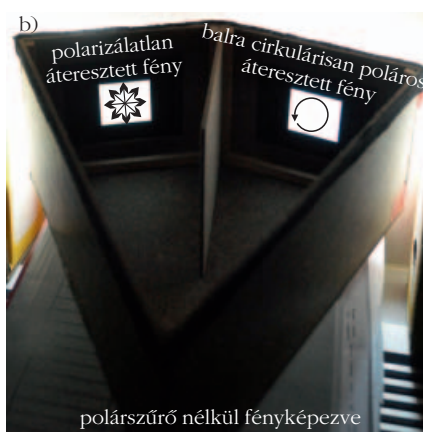
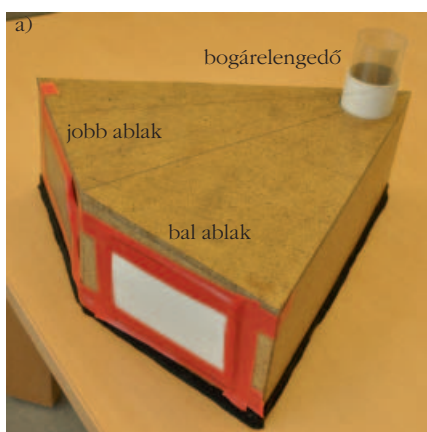
5. ábra. Polárszűrő nélkül készült fényképfelvételek a 3. kísérletben használt teszt Doboz bal és jobb ablakában látható csali bogártetemekről (a, b), valamint egy BC polárszűrőn (c, d) és egy JC polárszűrőn át készített fotók (e, f). A bal ablakban a közvetlenül látható bogártetemekről BCP-fény verődött vissza. A jobb ablakban egy ferde síktükörön át látható bogártetemek JCP fényingert szolgáltatnak. A kerék nyílak a polárszűrők által átteresztett poláros fény cirkulációs irányát mutatják. A c) képen a bogártetemek azért feketék, mert a JC polárszűrő elnyelte a róluk közvetlenül érkező BCP-fényt. Az f) képen a bogártetemek azért feketék, mert a BC polárszűrő elnyelte a róluk származó és a tükörbeli visszaverődés utáni JCP-fényt. A csali bogártetemetek hordozó négyszögletes ablakok oldalai vízszintesek és függőlegesek voltak. Az itt látható dőlés azzal magyarázható, hogy fotózásakor a fényképezőgép kissé ferde volt.







7. ábra. Az 5. kísérletben használt, itt fejtetőre állított testdoboz egy főszejtora polárszűrő nélkül (a) és lineáris polárszűrőn át fényképezve, mely polárszűrő áteresztési irányát fekete kettősfejú nyíl mutatja. A testdoboz minden főszejtorának két ablaka közül az egyik teljesen lineárisan poláros fényt (TLP) eresztett át (a polarizációirány  $45^\circ$  volt a vízszinteshez képest, amit duplavégű fehér nyíl jelez), a másik ablak pedig BCP-fényt.



8. ábra. Az előkísérletben és a 6. kísérletben használt testdoboz. a) a testdoboz kívülről nézve. b) a fejről állított testdoboz belsejét polárszűrő nélkül nézve, az egyik ablak BCP-fényt eresztett át, míg a másikon keresztül polarizálatlan fény érkezett a dobozba. c) a fejről állított testdoboz belseje egy BC polárszűrőn át fényképezve.



1. ábra. A polarizált fényel megvilágított CD-tokon megtört fény a hátsó felületről visszaverődve jut el a szemünkhöz. A Brewster-szögben választva megjelennek a feszültségoptikai csíkok.



2. ábra. A polarizált fény polarizációsíkja névjegykártya-tartón áthaladva – a mechanikai feszültség függvényében – elfordul. Az üveglapról Brewster-szögben visszaverődő fényben láthatóvá válnak a csíkok.

