

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXIII. évfolyam

5. szám

2013. május

HOGYAN FOGHATÓ NAPELEMMEL BÖGÖLY? – I. RÉSZ

Fénypolarizációra és fotoelektromosságra épülő új rovarcsapda, avagy alapkutatásból gyakorlati haszon

Blahó Miklós, Egri Ádám, Horváth Gábor
Környezetoptika Laboratórium, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest

Barta András
Estrato Kutató és Fejlesztő Kft., Budapest

Antoni Györgyi
ELTE Pályázati és Információs Központ, Budapest

Kriska György
ELTE Biológiai Intézet, Biológiai Módszertani Csoport, Budapest és
Dunakutató Intézet, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Vácrátót

A bögölyök (*Diptera: Tabanidea*) számos problémát okoznak az embereknek és az állatállománynak egyaránt, mivel vérszívó nőtényeik betegségek kórokozóit terjesztik [1]. A vérszívó bögölyök folyamatosan zaklatják az állatokat, különösen a lovakat és szarvasmarhákat, aminek következtében azok nem tudnak eleget legelni, s így a hús- és tejtermelésük jelentősen csökken, ami komoly gazdasági károkkal jár [2]. Továbbá, a bögölyök csípései maradandó hegeket okoznak gazdaállatok bőrén. Minél nagyobb a heges terület a marhabőrön, annál inkább csökken a bőrükért tartott marhák értéke. Ezért a bögölycsapdák iránt – különösen a haszonállatok tartóinak körében – nagy a kereslet.

Hagyományosan fekete csalitárgyakkal ellátott sátras csapdákat használnak rutinszerűen a bögölyök elfogására [3, 4]. Szintén gyakori a kék-fekete vászonnál készült sátorcsapdák alkalmazása, amilyen például az úgynevezett Nzi csapda is [5]. E bögölycsapdáknál az a közös, hogy egy sátorból és a sátor alá fölfüggesztett csalitárgyból állnak. A csali feladata, hogy optikai tulajdonságaival (a visszavert fény intenzitásával és színével, a tárgy mozgásával) nagy távolságból odavonzza a bögölyöket. Mikor a nőtény bögölyök rászállnak a csalitárgyra s érzékelik, hogy az nem vérszívásra alkalmas gazdaállat, fölfelé kezdenek

repülni, és a fölfelé szűkülő sátor tölcészerűen bevezeti őket egy üveg vagy műanyag tárolóba, ahol csapdába esnek. E sátorcsapdák szinte kizárólag olyan nőtény bögölyöket fognak, amelyek gazdaállatot keresnek vérszívás céljából [1].

Korábban megmutattuk [6, 7], hogy a hím és nőtény bögölyök egyaránt vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez, számos más vízirovarhoz hasonlóan [8–13]. Ennek oka, hogy a bögölyöknek vizet kell találniuk, mivel petéiket vízközeli növények leveleire rakják. Vízre pedig a vízfelszínről visszavert vízszintesen poláros fény segítségével bukkanak. E pozitív polarotaktikus viselkedés használható föl új bögölycsapdák kifejlesztésére.

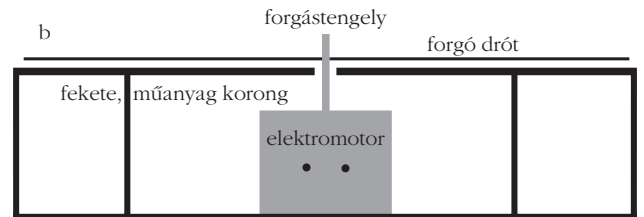
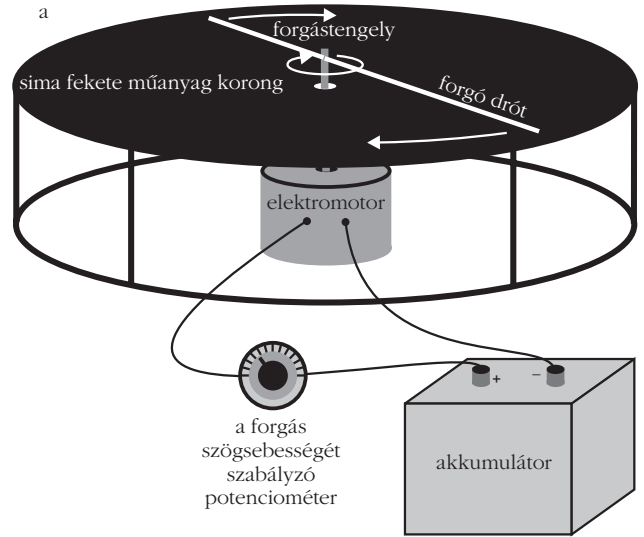
Cikkünkben egy ilyen merőben új típusú bögölycsapdát ismertetünk [14]. E csapdában a vizuális csalitárgy egy vízszintes napelemtábla, ami a felületéről visszavert erősen és vízszintesen poláros fényrel vonzza magához a polarotaktikus bögölyöket. A napelemtáblára rászállni próbáló bögölyöket egy gyorsan forgó drót kaszálja el, amit a napelemtábla által termelt villamos energiával forgatott elektromotor hajt. Részletesen bemutatjuk ezen új bögölycsapdát, amelynek hatékonyságát terepkísérletekkel bizonyítottuk, majd megvitátjuk e csapda előnyeit és hátrányait. Képzelt polarimetriával mértük a csapda

fénypolarizáló sajátságait, amelyek magyarázatot szolgáltatnak arra, hogy e csapda miért oly vonzó a bögölyök számára. Kutatásunk jó példája annak, hogy egy tisztán tudományos eredmény – a bögölyök pozitív polarotaxisának felfedezése – hogyan hasznosulhat a gyakorlatban egy új rovarcsapda kifejlesztésénél [14].

Napelemes bögölycsapda és terepkísérletek

Az 1. bögölycsapda csalifelülete egy vízszintes, kör alakú, sima, fekete műanyag lap (sugár = 30 cm, vastagság = 5 mm) volt, amit egy 15 cm magas és 25 cm sugarú alumínium keretre erősítettünk (1. ábra). A fekete körlap alatt egy elektromotort helyeztünk el úgy, hogy annak függőleges forgó tengelye a vízszintes körlap közepét szúrta át. A motortengelyhez vízszintesen egy vékony (0,5 mm vastag), 60 cm hosszú fém drótot erősítettünk a közepénél fogva. Így a drót a fekete körlap fölött (3 cm) foroghatott, annak közepé körül, a felülettel párhuzamosan. Az elektromotort egy 12 V egyenfeszültségű autóakkumulátor táplálta úgy, hogy az egyenáramot potenciométerrel lehetett változtatni, amivel egyúttal a drót forgásának szögsebességét is be lehetett állítani.

A 2. bögölycsapda két téglalap alakú (30×60 cm) vízszintes napelemtáblából (Omnitron F 10/12) állt, amelyeket egy alumínium vázra (60×60×20 cm) erősítettünk. A vízszintes, négyzet alakú (60×60 cm) felületet egy alumínium sáv (1×2×60 cm) osztotta ketté. E sávot metszette át egy elektromotor függőleges forgástengelye. E tengely hengeres (átmérő = 2 cm, magasság = 1 cm) fejrészébe egy 60 cm hosszú (0,5 mm vastag) drótot erősítettünk úgy, hogy az a napelem felületével párhuzamosan, afölött 3 cm magasan foroghatott. A két napelemtábla közti alumínium sávot és a napelemtáblák kereteit fekete festettük. Így a csapda teljes vízszintes felülete fényes fekete lett (2.a ábra), miáltal erősen (nagy polarizációfokú) és vízszintesen poláros fényt vert vissza, ezzel vonzva magához a polarotaktikus bögölyöket. Az elektromotort egy szabályzó elektronikán keresztül a napelemtáblák termelte egyenáram hajtotta. Az elektronika biztosította például, hogy bekapcsolás után az elektromotor tengelyforgása csak fokozatosan érte el a maximális szögsebességet. Enélkül a felpörgő drót föltekeredett volna az elektromotor forgástengelyére. Kikapcsolásnál e föltekeredés nem jelentkezett, így ilyenkor az elektronika nem avatkozott be a forgás tengelysúrlódás miatti lassulásába. Napos időben és a Nap kellően nagy θ elevációs szögénél ($> 29^\circ$) a két napelemtábla által termelt villamos energia elegendő volt az elektromotor tengelyének akkora szögsebességgel történő forgatásához, hogy a forgó drót minden odavonzott bögölyt elkaszáljon. Mikor a Nap elevációja alacsonyabb volt, mint 29° , két további, kiegészítő napelemtábla (Omnitron F 10/12, 2.a ábra) szükségeltetett, hogy a drót kellően gyorsan pörögessen. A két kiegészítő napelemtábla alumínium kereteit nem festettük fekete, mert azok szerepe



1. ábra. (a) Az 1. kísérletben alkalmazott 1. bögölycsapda vázlatos rajza. (b) A csapda keresztmetszeti képe. (c) A csapda terepen készült fényképe.

csak az elektromotor forgatásához szükséges villamos energia előállítására volt, nem pedig a bögölyök vonzása. Korábban megmutattuk [15], hogy az erősen fénypolarizáló, fényes, fekete felületek megfelelően sűrű, fehér vonalakkal történő ráncozással elvesztik a polarotaktikus rovarokra kifejtett vonzó képességüket.

A bögölycsapda drótszálának forgatásához szükséges teljesítmény számítása

Vegyünk egy $2R$ hosszúságú és a vastagságú drótot, amit a közepén rögzítünk! Forgassuk meg a drótot a középpontja körül ω szögsebességgel vízszintes síkban! Szemeljük ki a drót közepétől r távolságra egy

elemi dr hosszúságú darabkát (3. ábra)! Ezen elemi darabka kerületi sebessége $r\omega$, a rá ható elemi közegellenállási erő pedig

$$dF = \frac{1}{2} k \rho (a \cdot dr) (r\omega)^2 = \frac{1}{2} k \rho a \omega^2 r^2 \cdot dr, \quad (1)$$

ahol ρ a levegő sűrűsége, k pedig a drót alaktényezője (ami hengeres drótnál megegyezik egy kör keresztmetszetű henger alaktényezőjével). A dr elemi drótdarabkára ható elemi dF közegellenállási erő elemi forgatónyomatéka:

$$dM = r \cdot dF = \frac{1}{2} k \rho a \omega^2 r^3 \cdot dr. \quad (2)$$

Az elemi $ds = r \cdot d\phi$ ívdarabkán a dF közegellenállási erő által végzett elemi munka:

$$\begin{aligned} dW &= dF \cdot ds = dF \cdot r \cdot d\phi = \\ &= (dF \cdot r) \cdot \omega \cdot dt = dM \cdot \omega \cdot dt. \end{aligned} \quad (3)$$

Azon elemi teljesítmény, ami a drót dr darabkájának ω szögsebességgel történő forgatásához szükséges:

$$dP = \frac{dW}{dt} = \omega \cdot dM = \frac{1}{2} k \rho a \omega^3 r^3 \cdot dr. \quad (4)$$

Ekkora elemi teljesítmény szükséges ahhoz, hogy az ω szögsebességgel forgó drót elemi dr darabkájára ható elemi dF közegellenállási erő elemi dM forgatónyomatékát ellensúlyozzuk. Az ω szögsebességgel forgó, $2R$ hosszúságú drótra ható közegellenállási

erő forgatónyomatéka ellensúlyozásához szükséges teljes P teljesítmény meghatározásához a drót elemi dr darabkáihoz tartozó elemi dP teljesítményeket össze kell adnunk, vagyis integrálnunk a drót teljes hosszára:

$$\begin{aligned} P &= 2 \int_{r=0}^{r=R} dP = 2 \frac{1}{2} k \rho a \omega^3 \int_{r=0}^{r=R} r^3 \cdot dr = \\ &= k \rho a \omega^3 \left[\frac{r^4}{4} \right]_0^R = \frac{k \rho a \omega^3 R^4}{4}. \end{aligned} \quad (5)$$

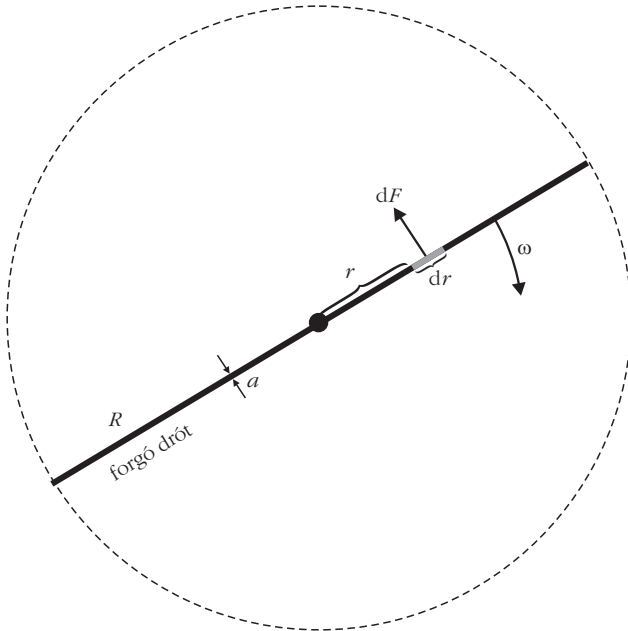
Az 1. kísérletet 2009. július 12. és 30. között 5 napon át Szokolyán (47° 52' N, 19° 00' E), egy lovastanyán végeztük. E kísérlet célja annak vizsgálata volt, hogy (i) az 1. bögyölycsepda drótjának forgása, (ii) a forgó drótszál zúgása és/vagy az általa keltett légmozgás (szellő) lerontja-e a csepda vízszintesen polarizáló felszínének bögyölyvonzó hatását. A kísérlet során napos és meleg idő volt, ezért a füves talajra helyezett 1. bögyölycsepda környezetében nagyszámú bögyöly röpködött. Az 1. kísérlet minden nap 10:00-tól 15:30-ig tartott (helyi nyári idő = UTC + 2 óra). Az 1. bögyölycsepda dróttja 30 percig mozdulatlanul állt, majd 30 percig forgott, s ez ismétlődött naponta négyszer. A félórás forgás után a csepda felszínét 70%-os etanollal megtisztítottuk az elkaszált bögyölyök testfolyadékaitól és petéitől. Mikor a drótszál mozdulatlan volt, a bögyölyöknek a csepda fényes, fekete körlapjánál mutatott két tipikus reakcióját figyeltük meg és számoltuk: (i) a

2. ábra. (a) A 2–4. terepkísérletekben használt 2. bögyölycsepda. Jobbra: a két vízszintes napelemtáblából és e napelemek felszíne fölött forgó vékony drótból álló csepda. Balra: ferde sítű két kiegészítő napelemtábla. (b–e) A csepda vízszintes napelemfelszínére leszálló bögyölyök.



T felületérintést, ami a természetben előforduló jellegzetes viselkedés, amikor a bögyölyök vizet isznak, vagy fürdőznek, hogy testüket lehűtsék, és (ii) a csepdafelszínre való L leszállást (néha járkálást). A bögyölyök nem szállnak le a vízre és nem is járkálnak annak felszínén. L a bögyölyök tipikus viselkedése az erősen és vízszintesen poláros mesterséges felületeken [6, 7, 11, 13, 15].

Annak ellenére, hogy a drótszál gyorsan forgott, néhány bögyölynek sikerült forgás közben rászállnia a csepdafelszínre. Drótforgás közben a következő bögyölyreakciókat számoltuk: T és L (mint korábban), valamint H, ami egy bögyöly forgó drót általi elkaszálása, amikor próbálja megérinteni a csepdafelületet, vagy rászállni arra. Egy bögyöly elkaszálásánál a fémszál jól hallható, pengő hangot adott, így a H bögyölykaszálásokat könnyen lehetett szá-



3. ábra. Egy a vastagságú és $2R$ hosszúságú drót levegőbeli ω szögsebességgel való forgatásához szükséges P teljesítmény számításához. A drót a középpontjában van rögzítve a forgástengelyhez.

molni. A kísérlet során számos elkaszált bögölyt begyűjtöttünk a csapda környékéről.

A mozdulatlan drótnál a bögölyök reakciói tehát T és L voltak. Legyen $N_T^{\text{álló}}$ és $N_L^{\text{álló}}$ a csapdafelületet megérintő (T) és arra rászálló (L) bögölyök száma, amikor a drót mozdulatlan. Ha a drót forgott, és a forgás nem riasztotta el a vízszintesen poláros fény által odavonzott bögölyöket, a csapda $N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}$ bögölyt pusztíthatott el. Legyen $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$ és $N_L^{\text{forgó}}$ a forgó drótszál által elkaszált (H), a csapdafelületet megérintő (T) és arra rászálló (L) bögölyök száma, amikor a drót forgott (aminek időtartama megegyezett azzal, amikor a drót nem forgott). Ha a drót mozgása és/vagy annak zúgása és/vagy a forgás keltette légáramlatok megzavarták a vizuálisan odavonzott bögölyöket, akkor várhatóan

$$N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} < N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}.$$

A forgó drót általi zavarás mértékére a következő mennyiséget definiáljuk:

$$Q_{\text{zavarás}} = 1 - \frac{N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} + N_H^{\text{forgó}}}{N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}}. \quad (6)$$

Ha a drót forgása az összes polarotaktikusan odavonzott bögölyt elriasztja (ekkor $N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} = 0$), akkor $Q_{\text{zavarás}} = 1$ (100%), míg ha a drót forgása egyáltalán nem riasztja a bögölyöket (tehát $N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}} = N_T^{\text{álló}} + N_L^{\text{álló}}$), akkor $Q_{\text{zavarás}} = 0$ (0%). Mivel az 1. bögölycsapdából csupán egyetlen példányunk volt, az $N_T^{\text{álló}}$ és $N_L^{\text{álló}}$, valamint az $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$ és $N_L^{\text{forgó}}$ mennyiségeket csak egymás után, nem pedig egyidejűleg tudtuk mérni. Hogy az 1. bögölycsapda környezetében lévő bögölyök számának időbeli változásából eredő elkerülhetetlen hatást minél

kisebbre csökkentjük, a drót forgását, illetve mozdulatlanságát valamennyi kísérleti napon 30 percként váltogattuk.

A 2. kísérletet az 1. kísérlet helyszínén végeztük 2010. július 11-én és 12-én. A 2. kísérlet célja annak megvizsgálása volt, hogy a 2. bögölycsapda drótyját képes-e a 60×60 cm méretű napelemtábla termelte villamos energia akkora szögsebességgel forgatni, hogy az a napelemet megérinteni próbáló minden bögölyt elkaszáljon. A kísérlet során napos és meleg idő volt, ezért a füves talajra helyezett 2. bögölycsapda környezetében nagyszámú bögöly röpködött. Az 1. kísérlethez hasonlóan jártunk el, csak most a 2. bögölycsapdával. A forgó drót bögölyzavarásának (6) szerinti mértékét itt is számoltuk.

A 3. kísérletet az 1. kísérlet helyszínén végeztük 2010. július 13. és 20. között. E kísérlet célja a 2. bögölycsapda tesztelése és a $Q_{\text{fogás}}$ bögölyfogó hatékonyságának mérése volt, a kiegészítő napelemtáblák nélkül. A kísérletet minden nap 10:00-tól 17:30-ig végeztük. A kísérlet során a 2. bögölycsapda drótyja folyamatosan, 7,5 órán át forgott. A drótforgás ellenére néhány bögölynek sikerült a csapda napelemlétfelületét megérintenie, vagy arra rászállnia. A napelemek felületét minden nap végén megtisztítottuk az elkaszált bögölyök ottmaradt testfolyadékaitól és petéitől. A 2. csapda bögölyfogó hatékonysága:

$$Q_{\text{fogás}} = \frac{N_H^{\text{forgó}}}{N_H^{\text{forgó}} + N_T^{\text{forgó}} + N_L^{\text{forgó}}}, \quad (7)$$

ahol $N_H^{\text{forgó}}$, $N_T^{\text{forgó}}$ és $N_L^{\text{forgó}}$ a H, T és L reakciók száma, miközben a drót forgott.

A 4. kísérletet az 1. kísérlet helyszínén végeztük 2010. augusztus 2. és 6. között. E kísérlet célja annak tesztelése volt, hogy a kiegészítő napelemtáblák mennyivel tudják megnövelni azon időtartamot, amikor a 2. bögölycsapda hatékonyan képes működni. A kísérlet naponta 9:00-tól 19:00-ig tartott. A kísérlet során a 2. bögölycsapda drótyja 10 órán át folyamatosan forgott. A 2. bögölycsapda vízszintes napelemtábláin kívül egy további, 2 napelemből (Omnitron F 10/12) álló tábla (60×60 cm) termelte a drót forgatásához szükséges villamos energiát. A kiegészítő napelemtáblát a vízszinteshez képest 45° -ban megdőntöttük, hogy fénygyűjtését minél hatékonyabbá tegyük, a kiegészítő napelemtáblát óránként forgattuk a Nap aktuális azimutirányába. Az előző kísérletekhez hasonlóan a T, L és H bögölyreakciókat számoltuk. A bögölyök egyszer sem érintették, vagy szálltak rá a kiegészítő napelemtáblára. Megint meghatároztuk a 2. csapda (7) szerinti bögölyfogó hatékonyságát.

A fénypolarizációs mintázatokat képalkotó polarimetriával [9] mértük a spektrum vörös (650 ± 40 nm = a polariméter CCD detektora maximális érzékenysége hullámhossza \pm annak félértékessége), zöld (550 ± 40 nm) és kék (450 ± 40 nm) tartományában. A polarimetriai méréseket tiszta, napsütéses időben végeztük.

Cikkünk II. részében a napelemes bögölycsapdánk terepen igazolt hatékonyságát mutatjuk meg, valamint tárgyaljuk e csapda előnyeit és hátrányait.

Irodalom

1. Lehane, M. J.: *The Biology of Blood-Sucking in Insects*. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005.
2. Harris, J. A.; Hillerton, J. E.; Morant, S. V.: Effect on milk production of controlling muscoid flies, and reducing fly-avoidance behaviour by the use of Fenvalerate ear tags during the dry period. *Journal of Dairy Research* 54 (1987) 165–171.
3. Malaise, R.: A new insect-trap. *Entomologisk Tidskrift Stockholm* 58 (1937) 148–160.
4. Hribar, L. J.; LePrince, D. J.; Foil, L. D.: Ammonia as an attractant for adult *Hybomitra lasiophthalma* (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* 29 (1992) 346–348.
5. Mihok, S.; Lange, K.: Synergism between ammonia and phenols for *Hybomitra* tabanids in northern and temperate Canada. *Medical and Veterinary Entomology* 26 (2012) 282–290.
6. Horváth, G.; Majer, J.; Horváth, L.; Szivák, I.; Kriska, G.: Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Naturwissenschaften* 95 (2008) 1093–1100.
7. Horváth, G.; Blahó, M.; Kriska, G.; Hegedüs, R.; Geric, B.; Farkas, R.; Ákesson, S.: An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society of London B* 277 (2010) 1643–1650.
8. Schwind, R.: Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *Journal of Comparative Physiology A* 169 (1991) 531–540.
9. Horváth, G.; Varjú, D.: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York (2004) p. 447
10. Kriska, G.; Bernáth, B.; Farkas, R.; Horváth, G.: Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology* 55 (2009) 1167–1173.
11. Horváth, G.; Kriska, G.: 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 (2008) Chapter 11, 204–229.
12. Lerner, A.; Meltzer, N.; Sapir, N.; Erlick, C.; Shashar, N.; Broza, M.: Reflected polarization guides chironomid females to oviposition sites. *Journal of Experimental Biology* 211 (2008) 3536–3543.
13. Horváth, G.; Kriska, G.; Malik, P.; Robertson, B.: Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (2009) 317–325.
14. Blahó, M.; Egri, Á.; Barta, A.; Antoni, G.; Kriska, G.; Horváth, G.: How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology* 189 (2012) 353–365.
15. Horváth, G.; Blahó, M.; Egri, Á.; Kriska, G.; Seres, I.; Robertson, B.: Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24 (2010) 1644–1653 + electronic supplement.

ESSZÉ A MÉRÉSEKRŐL, AMELYEK A PLANCK-TÖRVÉNY FELFEDEZÉSÉHEZ VEZETTEK – 5. RÉSZ

Varga Péter
KFKI

Elvarratlan szálak

Az optikában

Első kérdés: Miért feleltek meg izotermák (7., 8., 10. és 12. ábra) Wien törvényének, ha azt a mérések, a kapott c_2 mennyiség változásai és a 12. ábra izokromatái cáfolták?

Idézzük a sorozat 2., februári részéből a (15) formulát:

$$u(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \equiv \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}$$

Látszik, hogy az intenzitás a Planck-törvény szerint felülmúlja azt, amennyit Wien törvénye alapján várnánk. A relatív többlet annál nagyobb, minél hosszabb a hullám, vagy minél magasabb a hőmérséklet. 1646 K hőmérsékletnél és 1 μm hullámhossznál a számított eltérés mindössze 0,02%, míg 5 μm hullám-

hossznál már +22%. Miért mértek mégis kevesebbet? Lehetséges oknak azt tartom, hogy a $\Delta\lambda$ hullámhossz-intervallum, amely a mérhető intenzitást meghatározó (7) formulában

$$I(\lambda, T) = i(\lambda, T) \Delta F \Delta \Omega \Delta \lambda$$

szerepel, nem volt állandó. *Lummerék* sehol sem foglalkoznak a belépő rés szerepével, *feltehetően* állandónak tartották. *Paschen* is csak az izokromataméréseknél [7] közli ezt az adatot, ahol éppen ez állandó lévén, nem játszott szerepet. A 2. részben láttuk, hogy a kilépő diafragma kivág egy tartományt a spektrumból. Minél nagyobb a diszperzió ($dn/d\lambda$) annál kisebb a fix szélességű rés által befogadott hullámhossz-intervallum, azaz $\Delta\lambda$. A diszperzió ($dn/d\lambda$) a mérésekben használt kalcium-fluorid prizma esetében 1 μm hullámhossznál $6 \cdot 10^{-4}$ μm , míg 5 μm -nél $11 \cdot 10^{-4}$ μm , tehát a $\Delta\lambda$ sáv szélesség a hosszabbik hullámhossznál közel a fele. A (7) összefüggés alapján ennek a mért teljesítményben is ugyanilyen arányban meg kellett jelennie. Lehet, hogy ezért mértek *Lummerék* kevesebbet?

Lehet, hogy *Paschen* erre gyanakodott? Ő intenzíven foglalkozott a kalcium-fluorid törésmutatójának meghatározásával az infravörösben. Már 1894-ben [28] közli az adatokat, majd 1901-ben megismétli a mérést