

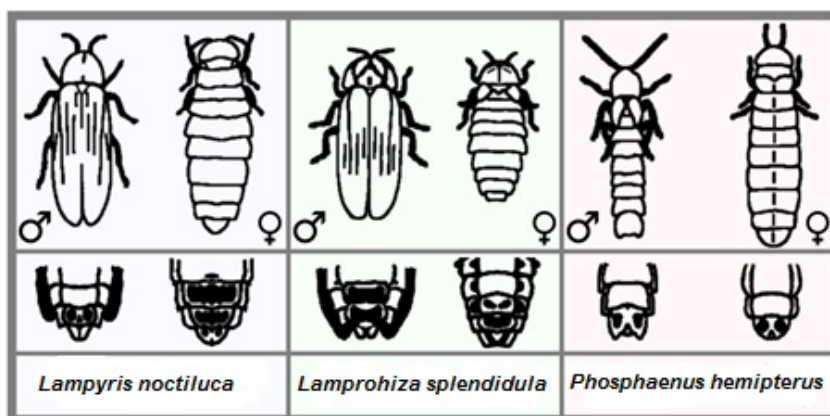
Informații generale

Bioluminescența: combinație de biologie, chimie și bionică

Lampyridae in Europe

Cu doar trei specii în Europa centrală, Lampyridae este una dintre cele mai mici familii de gândaci. ^[1] Larvele de Lampyridae ies din ouă în pământ și se hrănesc cu melci mici. ^[2] Adulții nu mănâncă și mor la scurt timp după copulare și respectiv după depunerea ouălor. ^[3]

Semnalul luminos pe care îl emit indivizii este specific fiecărei specii și el servește la atragerea unui partener de împerechere. ^[4] Există două forme de comunicare pentru speciile din Europa Centrală. Femela staționară *Lampyris noctiluca* emite lumină pentru a găsi un partener de împerechere în perioada dintre iunie și septembrie. Având culoarea maronie și fiind lipsită de aripi, ea pare a fi mai degrabă o larvă. Organele sale luminoase primare sunt situate sub segmentele abdominale șase, șapte și opt. ^[2] Masculul și femela *Lamprohiza splendidula* creează semnale luminoase specifice speciei pentru împerechere între iunie și iulie. Masculii își lasă al șaselea și al șaptelea segment abdominal să emită lumină într-un model specific, care este preluat de o femelă receptivă. Femelele trăiesc pe sol. Nu pot zbura și apar ca larve datorită culorii lor galben-maronii. ^[2] Ultima specie, *Phosphaenus hemipterus*, are doar niște organe slab dezvoltate care emit lumină. Masculii și femelele nu pot zbura, și strălucesc ușor doar ca adulți. Atragerea și găsirea unui partener pentru împerechere se completează prin feromoni sexuali. ^[5]



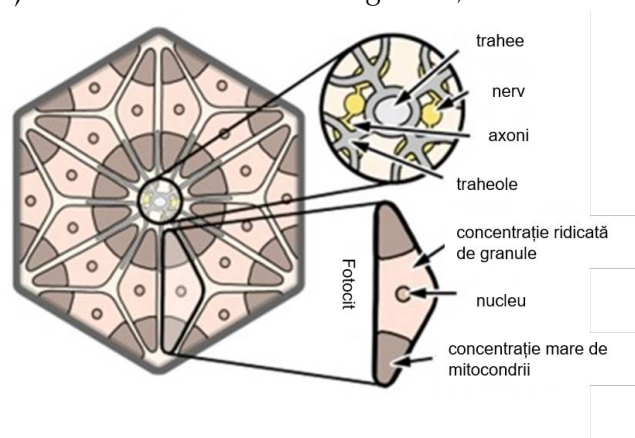
Prezentare schematică a trei specii de Lampyridae care trăiesc în Europa centrală (bazată pe Ref. [6]).

Imagine oferită de Marcel Hammann

Fotoforul

Fotoforul poate fi găsit în partea de jos a ultimului segment abdominal al Lampyridae. Partea sa vizibilă constă din așa-numitele fotocite. Un strat netransparent de celule, cu rol de reflector, este situat chiar în spatele stratului de fotocite.

Fotocitele sunt dispuse cilindric în jurul rețelei traheale. Granulele situate în mijlocul fiecărui fotocit depozitează luciferază și luciferină.^[2] Emisia de lumină poate fi reglată prin impulsuri nervoase și este dependentă de nivelurile de oxigen din interiorul fotocitei. Mitocondriile din fotocite se află lângă rețeaua traheală, care transportă oxigen. Astfel, mitocondriile folosesc în mod normal aproape tot oxigenul care ar fi necesar pentru a iniția reacții emițătoare de lumină prin luciferina stocată în granulele din centrul fotocitei. Printr-un impuls nervos, se emite monoxid de azot, care, la rândul său, reduce absorbția de oxigen de către mitocondrii. În acest fel, nivelul de oxigen crește și inițiază oxidarea luciferinei din granule, catalizată enzimatic.^[2]



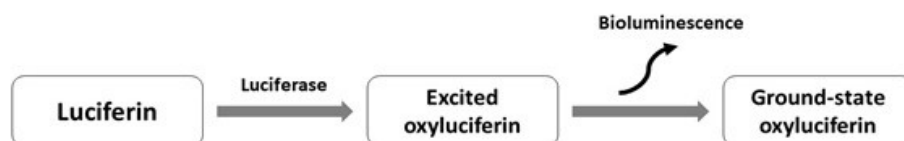
Ilustrație schematică a unui fotofor cu fotocite dispuse în jurul rețelei traheale

Imagine oferită de Marcel Hammann

Luminescența

În luminescență, energia este emisă (în lungimea de undă vizibilă a luminii) prin oxidarea unui luminofor.^[7] În termeni simplificați, unul dintre produsele reacției nu atinge nivelul final de energie al reacției. Luciferina este oxidată în oxiluciferină, care se află temporar într-o stare excitată și emite lumină atunci când se decade în starea sa de bază. Spre deosebire de fluorescență sau de fosforescență, care primesc energie din lumina exterioară, energia de excitație din luminescență este energie chimică, internă. Bioluminescența este un tip specific de chemoluminescență, în care procesele sunt catalizate enzimatic în organismele vii.

În cazul luciferinei – luminoforul care poate fi găsit în mulți fotofori ai gândacilor emițători de lumină –, luciferaza catalizează oxidarea prin stabilizarea complexului reactiv luciferină – monofosfat de adenzină (AMP).^[8] Prin oxidare, se eliberează o moleculă de dioxid de carbon, iar molecula de oxiluciferină rezultată atinge o stare de energie ridicată. Prin emiterea unui foton, luminoforul revine apoi la starea energetică de bază a formei sale oxidate.



Reacție simplificată de emisie de lumină a luciferinei la nivel molecular (bazată pe Ref. [8]).

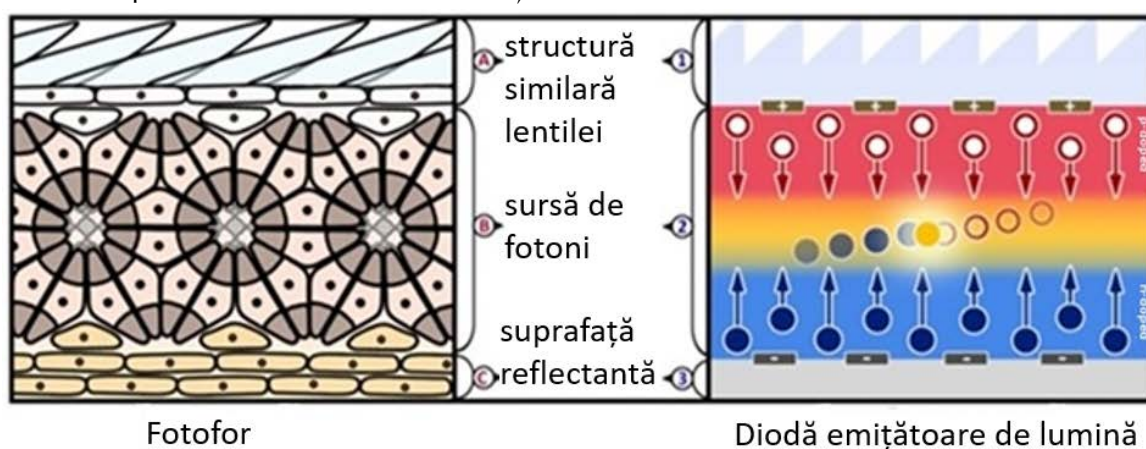
Image courtesy of Carolin Zehne

Fotoforele Lampyridae-lor și LED-urile

Lumina creată în fotofori trebuie să treacă prin cuticule pentru a fi radiată în mediul înconjurător. Ori de câte ori este emisă lumină, ea trebuie să treacă dintr-un mediu optic dens (cuticula) într-un mediu mai puțin dens (aerul). Viteza cu care lumina se deplasează printr-un mediu optic mai dens diferă de viteza într-un mediu mai puțin dens. Datorită diferenței de viteză cu care lumina se deplasează prin aceste două medii, în apropierea interfeței celor două medii au loc refracția și reflexia luminii. Astfel că doar o parte a luminii trece către noul mediu. Cealaltă parte este reflectată înapoi în mediul sursă. Iar dacă lumina lovește interfața dintre medii la un anumit unghi de incidență, va fi reflectată aproape integral. Pentru cuticulele fotoforului Lampyridae, acest unghi este de 40° .

O examinare mai detaliată a cuticulei revelează structura sa inegală: suprafața fotoforului este acoperită de solzi, care sunt ușor înclinați și au capete ascuțite. Datorită înclinației lor, structura suprafeței este similară cu cea a unei prisme optice (sau cu o lentilă Fresnel). Astfel, se modifică unghiul la care lumina este incidentă pe cuticulă. Prin capetele ascuțite ale solzilor este dispersată mai multă lumină, ducând astfel la o transmitere suplimentară a luminii, ceea ce îi crește emisia cu 45%.

Când comparăm structura fotoforului cu cea a unui LED, se observă anumite asemănări. Ambele au un strat generator de lumină acoperit cu un strat transparent. În cazul LED-ului, stratul generator de lumină este format din semiconductori dopați, care generează lumină prin electroluminescență. Stivuirea materialelor dopate p și n face să aibă loc o transmisie electronică limitată spațial, și astfel se ajunge la un echilibru al purtătorilor de sarcină electrică la interfața dintre joncțiuni. Un LED constă dintr-un anod și catod. Semiconductorul este încorporat într-o cavitate reflectorizantă și o parte ca de nicovală. O legătură metalică îl conectează la terminal. Terminalul și nicovala formează cadrul principal, care este acoperit cu un strat de sticlă sau de plastic pentru protecție. Prin aplicarea unei tensiuni electrice, poate fi indusă recombinarea continuă a purtătorilor de sarcină la interfața dintre straturi, ceea ce duce la emisia de fotoni.^[9]



Comparație a proprietăților structurale ale unui fotofor schematic al Lampyridae (stânga) și ale unui LED (dreapta)
Imagine datorită lui Marcel Hammann

Similar cu reflexia care apare la suprafața fotoforului, o parte din lumina emisă de un LED este reflectată la interfața dintre sticlă și aer, scăzând astfel eficiența luminoasă. Pentru a crește eficiența, structura solzoasă a cuticulei a fost transferată pe suprafața LED-urilor, urmând o procedură bionică tipică, în trei pași:

- I. Analizarea unui fenomen biologic
- II. Abstractizarea rezultatelor obținute
- III. Rezultatele abstractizate servesc la definirea unei soluții pentru problema tehnică

References

- [1] Harde KW, Severa F (2006) *Der Kosmos Käferführer: Die Käfer Mitteleuropas [Ghidul Cosmosului Gândacilor: Gândacii în Europa Centrală]* p 37. Kosmos. ISBN: 978-3440139325
- [2] Dettner K (2010) Biolumineszenz [Bioluminescence]. In Dettner K, Peters W (eds), *Lehrbuch der Entomologie [Manual de Entomologie]* pp 601–611. Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2617-8
- [3] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer [Lumea magică a gândacilor]* p 121. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [4] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer [Lumea magică a gândacilor]* p 177. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [5] DeCock R (2000) Rare, or simply overlooked? Practical notes for survey and monitoring of the small glow-worm *Phosphaenus hemipterus* (Coleoptera: Lampyridae). (*Rari, sau doar trecuți cu vederea? Note practice pentru cercetarea și monitorizarea micilor viermi strălucitori 'Phosphaenus hemipterus'* (Coleoptera: Lampyridae).) *Belgian Journal of Zoology*, **130**: 93–101.
- [6] DeCock R (2012) Three central European glow-worm species: how to recognise central European glow-worm species. (*Trei specii de viermi strălucitori din centrul Europei: cum să recunoașteți speciile de viermi strălucitori din Europa Centrală.*) Retrieved from <http://www.glowworms.org.uk/ident.html>.
- [7] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik [Introducere în fizica stării solide]*. Manual de fizică. p 98. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6
- [8] Girotti S, Ferri EN, Bolelli L, Sermasi G (2001) Applications of bioluminescence in analytical chemistry. (*Aplicații ale bioluminescenței în chimia analitică*). In García-Campaña AM, Baeyens WRG (eds) *Chemiluminescence in Analytical Chemistry* pp 247–284. Marcel Dekker. ISBN: 0-8247-0464-9
- [9] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik [Introducere în fizica stării solide]*. Manual de fizică. p 140. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6