

# fizikai szemle



2013/9



Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat  
havonta megjelenő folyóirata.  
Támogatók: A Magyar Tudományos  
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,  
az Emberi Erőforrások Minisztériuma,  
a Magyar Biofizikai Társaság,  
a Magyar Nukleáris Társaság  
és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, Czitrovsky Aladár,  
Faigel Gyula, Gyulai József,  
Horváth Gábor, Horváth Dezső,  
Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Lendvai János,  
Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin,  
Simon Péter, Sükösd Csaba,  
Szabados László, Szabó Gábor,  
Trócsányi Zoltán, Turiné Frank Zsuzsa,  
Ujvári Sándor

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

A Geesops schlotheimi (Bronn, 1825)  
háromkaréjos ősrák (trilobita)  
schizochroális összetett szeme. Jól  
látszanak az egymástól elkülönülten  
ülő elemi szemecskék, amelyek  
szerkezete a 298–304. oldalakon  
található cikkben szereplő trilobita  
szeméhez hasonló.

## TARTALOM

<i>Kertész Krisztián, Piszter Gábor, Vértesy Zofia, Biró László Péter, Bálint Zsolt:</i> Színek harmóniája: a boglárkalepkék szerkezeti kék színének fajfelismerési szerepe – II. rész	293
<i>Horváth Gábor, Egri Ádám:</i> Gömbhibamentes egy- és kétfókuszúság: a trilobitalencsék magjának optikai szerepe – II. rész	298
<i>Baji Zsófia, Mikula Gergő János:</i> Rétegépítés atomi pontossággal a mikro- és nanotechnológiában	305
<i>Gesztli Tamás:</i> Hamarosan itt az október, a Nobel-díjak hónapja – a 2012-es fizikai Nobel-díjakról	310
<i>Radnai Gyula:</i> Száz éve történt: hazai tudósítás Laue briliáns ötletéről	311

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Radnóti Katalin:</i> XVI. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – beszámoló 2. rész	314
Eötvös-verseny 2013	321

### HÍREK – ESEMÉNYEK

	321
--	-----

*K. Kertész, G. Piszter, Z. Vértesy, L. P. Biró, Zs. Bálint:* The well-tuned blue: the role of structural colours as optical signals in species recognition of a local butterfly fauna – part II

*G. Horváth, Á. Egri:* Spherically corrected monofocality or bifocality: optical functions of the central core in lenses of trilobite eyes – part II

*Z. Baji, G. J. Mikula:* The preparation of layers with atomic accuracy parameters for micro and nano technology purposes

*T. Geszti:* November approaching – an opportunity for surveying the 2012 Nobel price winning topics

*J. Radnai:* One century ago: first news in our country about Laue's brilliant idea

### TEACHING PHYSICS

*K. Radnóti:* Report on the XVI. Leo Szilárd Contest in nuclear physics – part II  
Eötvös contest 2013

### EVENTS

*K. Kertész, G. Piszter, Z. Vértesy, L. P. Biró, Zs. Bálint:* Harmonie der Farben: die Rolle des strukturell bestimmten Blaus als optischem Signal zur Erkennung der artigenen Schmetterlinge – Teil II.

*G. Horváth, Á. Egri:* Abbildung mit einfachen und doppelten Brennweiten ohne sphärische Verzerrungen: ein Ergebnis spezieller Linsen bei Trilobiten – Teil II.

*Z. Baji, G. J. Mikula:* Die Herstellung von Schichten mit Genauigkeitsparametern der Atom-Größenordnung für die Mikro- und Nanotechnologie

*T. Geszti:* Kurz vor November – eine Gelegenheit, sich der Nobelpreis-gekrönten Themen des Jahres 2012 zu erinnern

*J. Radnai:* Vor hundert Jahren: die ersten Nachrichten in unseren Land über Laues geniale Idee

### PHYSIKUNTERRICHT

*K. Radnóti:* Bericht über den XVI. Leo-Szilárd-Wettbewerb in Kernphysik – Teil II.  
Eötvös-Wettbewerb 2013

### EREIGNISSE

*K. Кермес, Г. Пустер, З. Вертеши, Л. П. Биро, Ж. Балитт:* Роль синей окраски бабочек при установлении их рода другими бабочками того же рода – часть вторая

*Г. Хорват, А. Эгри:* Достижение простой или двойной фокусировки без искажений – назначение средней части в линзах трилобитов – часть вторая

*Ж. Байи, Г. Я. Микула:* Создание слоев толщиной атомного порядка для целей микро- и нанотехнологии

*Т. Гестли:* Близок ноябрь – месяц Нобелевских Премий. Пора обозреть премии 2012-го года

*Й. Раднаи:* Столетие с прибытия к нам вести о блестящей идеи Лауэ

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

*К. Раднóти:* Отчет о XVI. студентском конкурсе им. Л. Силарда по ядерной физике – часть вторая

Конкурс им. Отвеша 2013

### ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



június közepi tetőzéssel. A *P. thersites* példányok csak a *P. semiargus* nemzedék végén kezdenek repülni, amikor már csak idős példányok fordulnak elő.

Az égszínkéek csoportból a *P. bellargus* és a *P. dorylas* is kétnemzedékes. A *P. bellargus* rendelkezik a legkorábbi és legkésőbbi tetőzéssel, és bár van valamennyi átfedés a *P. dorylas* repülésével, spektrálisan jól láthatóan különböznek. A *P. dorylas* második nemzedékének repülési ideje teljesen átfed a *P. daphnis* előfordulásával. Bár a színük lehetővé teszi a megfelelő megkülönböztetést, a két faj elkülönülését azon egyedi jelenség is segíti, hogy a *P. daphnis* nőtényei mindig kékek.

A zöldes csoport tagjai egynemzedékesek. Elsőként a *P. amandus* jelenik meg, ami színében is eltér a többitől. Június közepére már megfakul a szárny színe annyira, hogy ne zavarja a megjelenő *P. damon* faj pázását. A *P. coridon* és a *P. damon* váltják egymást, a rendszerint nagy számban kirajzó *P. coridon* már csak az idős, kevés számú *P. damon* hímmel találkozhat az élőhelyen.

A fenti csoportosulásokon kívül meg kell jegyezzük a kétnemzedékes *P. icarus*, *P. dorylas* és *P. bellargus* esetét. Május közepén vagy végén tetőzik az első nemzedékük, de a színük jellegzetesen elkülönül, tehát ennek alapján az ugyanazon fajhoz tartozó egyedek azonosítani tudják egymást.

## Következtetések

Kilenc közeli rokon (és azonos földrajzi helyen élő) boglárka lepkefaj részletes szerkezeti és spektrális vizsgálata megmutatta, hogy a hímek szárnyának kék színe és a színért felelős fotonikus nanoszerkezet fajra jellemző. Mesterséges neurális hálózatot alkalmazva, a szerkezeti vagy a spektrális adatok alapján is a fajokat 90% feletti találati aránnyal lehet azonosítani. A fajok repülési idejét tekintve az látszik, hogy a hasonló színű lepkék időben elkülönülnek. A lepkék ultrabolya-érzékeny fotoreceptor-típusát figyelembe vevő, háromdimenziós színingertérben ábrázolva, az eltérő fajok szárnyszínerei jobban elkülönülnek egymástól, mint az emberi látáson alapuló, kétdimenziós színingertérben. A repülési időszakokat tekintve, a vizsgált 9 boglárkafaj kék színe lehetővé teszi a biztonságos párkeresést, illetve a versenytársak eredményes kiszűrését.

A szerkezet-szín összefüggés vizsgálata modellezéssel együtt lehetővé teszi új utak feltárását a bioinspirált, kívánt színárnyalatú mesterséges fotonikus nanoarchitektúrák tervezésében és azok gyakorlati alkalmazásában.

## Irodalom

10. Lukács Gy.: *Színmérés*. Műszaki Kiadó, Budapest, 1982.

# GÖMBIHI BAMENTES EGY- ÉS KÉTFÓKUSZÚSÁG: A TRILOBITALENCSEK MAGJÁNAK OPTIKAI SZEREPE – II. RÉSZ

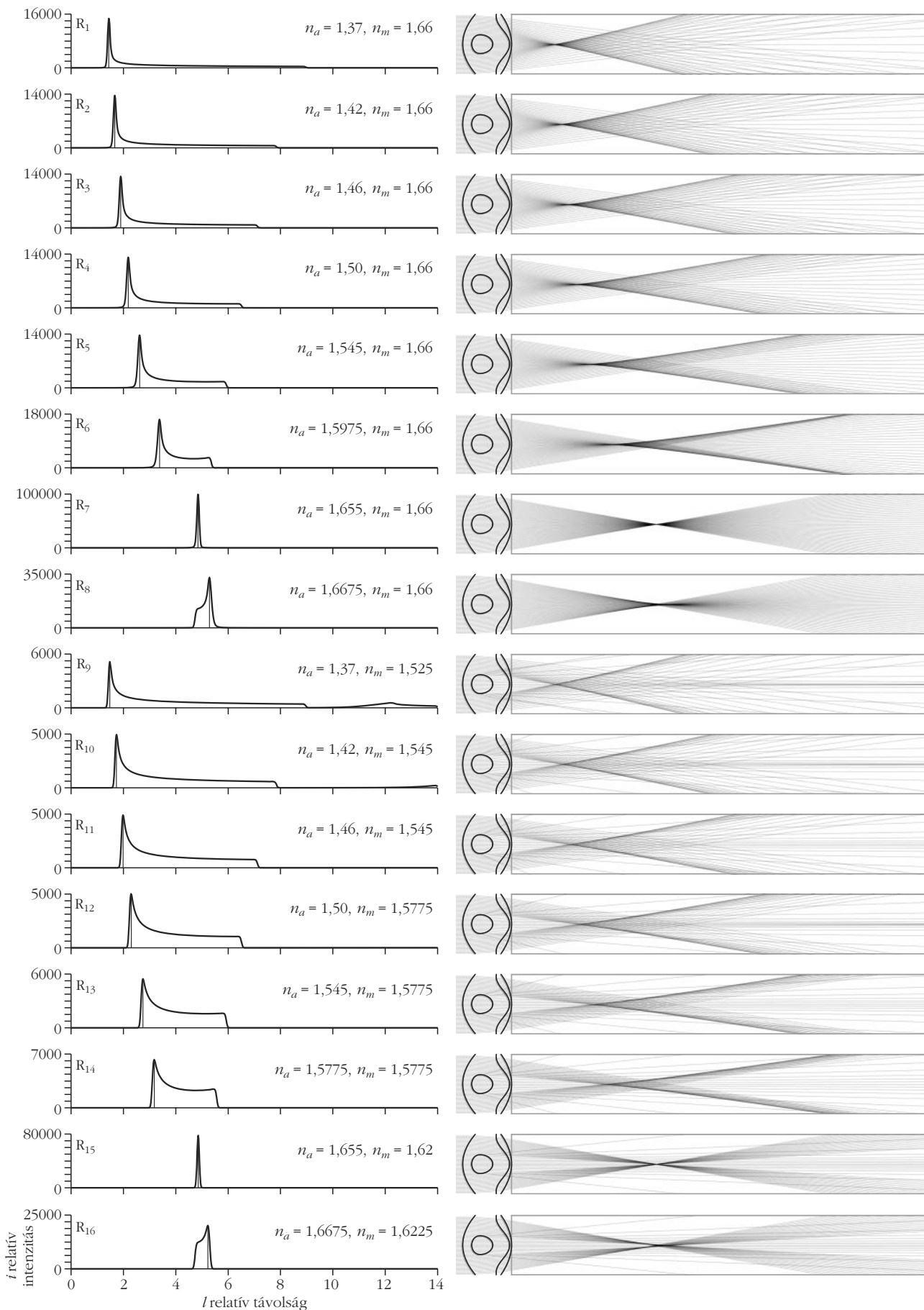
A központi lencse mag szerepe bizonyos schizochroális szemű háromkaréjos ósrákokban (trilobitákban) máig ismeretlen volt. Azért, hogy megértsük e rejtélyes lencse mag lehetséges optikai szerepét, cikkünk I. részében egy számítógépes sugárkövetéses módszert írtunk le, amivel egy szilur kori *Dalmanites* trilobitafaj összetett szeméibeli lencsék optikája vizsgálható [19]. Cikkünk II. részében számításokat végzünk annak kiderítésére, hogy milyen fényintenzitás alakul ki a lencse alatt az optikai tengely mentén. Számításainkban két paraméter szerepel: az alsó lencsetag  $n_a$  és a lencse mag  $n_m$  törésmutatója. Meghatározzuk  $n_a$  és  $n_m$  azon értékeit, amelyek esetén a vizsgált trilobitalencse egy, kettő, illetve három fókuszponttal rendelkezik. A fókuszpontok jóságát (a gömbi hiba kiküszöbölésének mértékét) számszerűen vizsgáljuk. Megmutatjuk, hogy a lencse mag egyik szerepe a gömbi hiba kiküszöbölése volt a fókuszpontok számától (1, 2 vagy 3) függetlenül, de akár a lencse kétfókuszúságát is biztosíthatta. A lencse mag másik lehetséges szerepe, hogy a lencse szélső tartománya egy meghatározott fókusz-távolsággal rendelkezett, míg a központi lencserész-

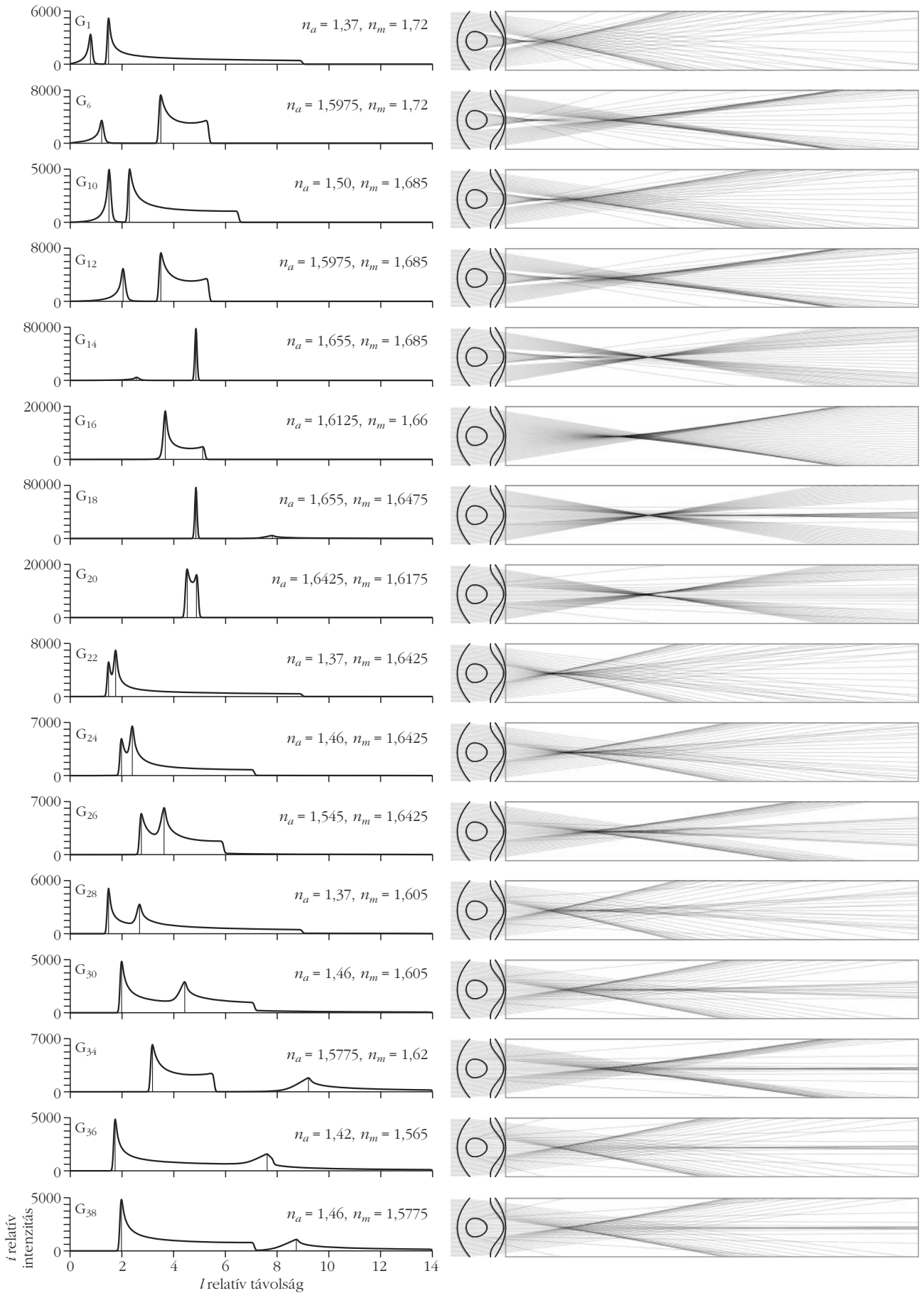
nek hosszabb vagy rövidebb volt a fókusz-távolsága attól függően, hogy a lencse mag  $n_m$  törésmutatója kisebb vagy nagyobb volt a felső lencsetag  $n_l$  törésmutatójánál. Megvizsgáljuk azon paraméterértékeket is, amelyek háromfókuszú lencséhez vezetnek, de ezt a lehetőséget kizártuk a biooptikailag értelmes megoldások közül.

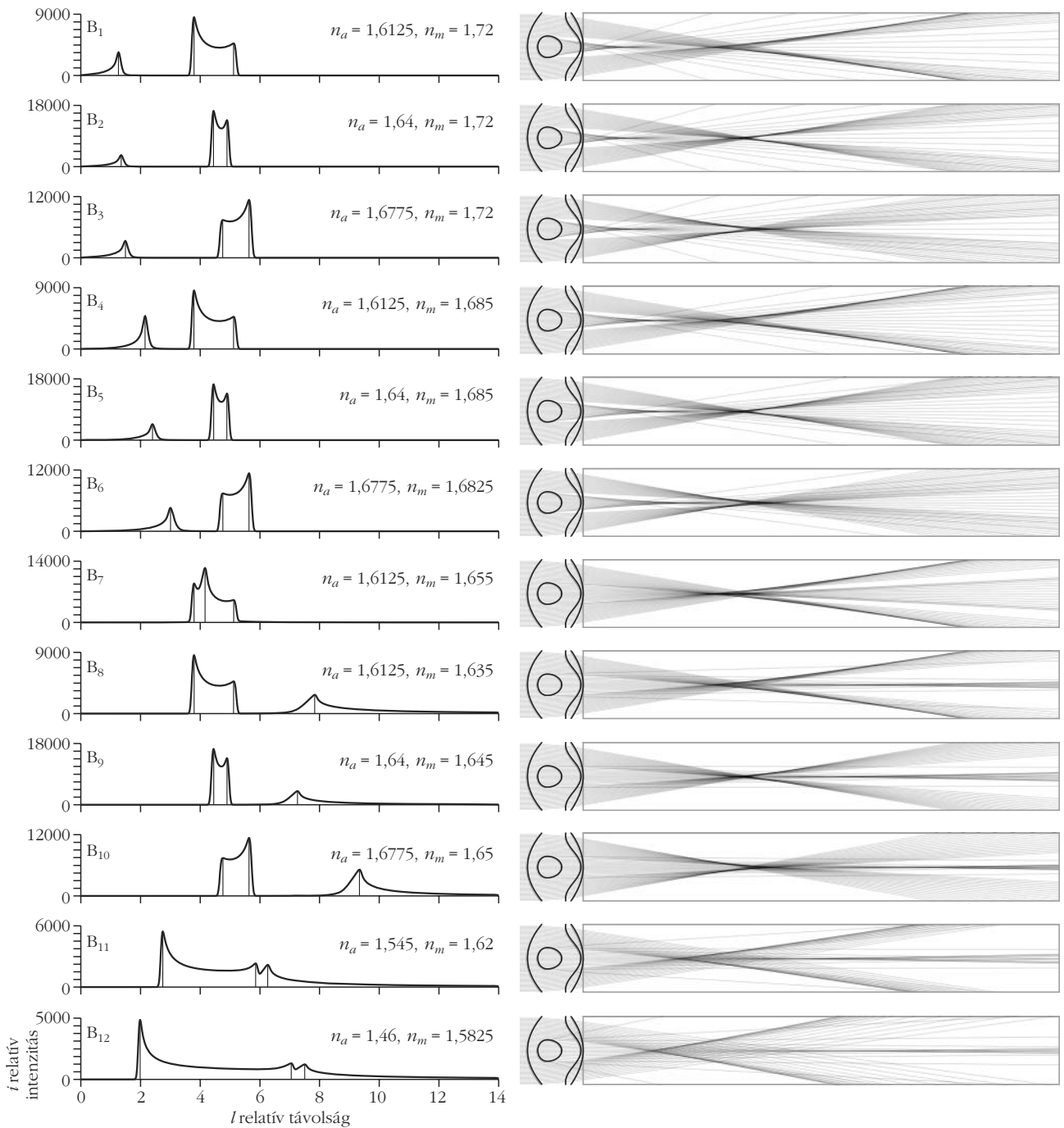
## Paleo-biooptikai eredmények

A 6. ábrán példák láthatók a lencse alatt az optikai tengely mentén kialakuló  $i$  relatív intenzitásra a lencse aljától mért  $l$  relatív távolság függvényében, ami-

**A következő oldalon:** 6. ábra. Balra: példák az  $i(l)$  relatív intenzitás-görbékre a központi maggal rendelkező trilobitalencsétől mért  $l$  relatív távolság függvényében, amikor a görbéknek csak egy csúcsa van. Az intenzitás-csúcsok helyét egy vékony függőleges vonal jelzi. Az adott intenzitás-görbéhez tartozó  $n_a$  és  $n_m$  törésmutató-értékek a grafikonok jobb felső sarkában olvashatók. Az  $R_1, \dots, R_{16}$  címkék a 9. ábra megfelelő címkéihez tartoznak. Jobbra: a bal oldali intenzitás-görbékhöz tartozó sugármenetek a lencse főtengelymetszetében.







8. ábra. Mint a 6. ábra, de most trifokális lencsére. A  $B_1, \dots, B_{12}$  címkék a 9. ábra megfelelő címkéihez tartoznak.

kor az  $i(l)$  görbe egyetlen csúccsal rendelkezik. Az  $n_a$  és  $n_m$  törésmutatók különböző értékei eltérő görbékhez vezetnek. A 7. és 8. ábra kettő és három intenzitáscsúcsú  $i(l)$  görbékét mutat. A 6–8. ábrák jobb oldalán a bal oldali  $i(l)$  görbékhez tartozó sugármenetek láthatók a lencse főtengelymetszetében.

A 7. ábra szerint, ha a lencsemag  $n_m$  törésmutatója különbözik a felső lencsetag  $n_f = 1,66$  törésmutatójától, akkor két fókuszterületet kapunk: (i) az egyik fókusz a lencse középső része hozza létre a magot

beleértve, míg (ii) a másikat az alsó és felső lencsetag külső gyűrűje. Cikkünkben fókuszpontnak a maximális intenzitással rendelkező helyet nevezzük. Ezen intenzitáscsúcsok nem nevezhetők egzakt fókuszpontoknak, mivel az intenzitáscsúcsok Gauss-függvény szerűen elkennek.

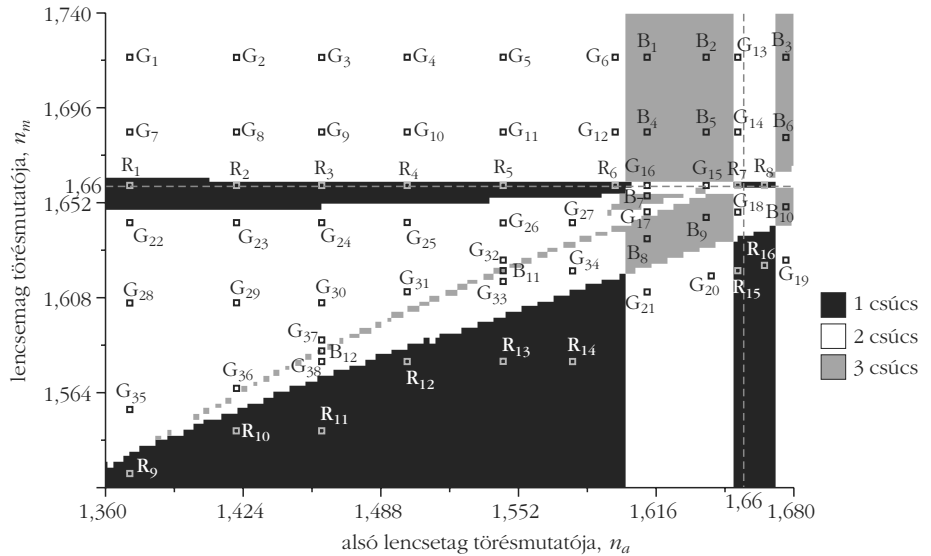
Az  $n_a$  és  $n_m$  törésmutatók függvényében a 9. ábra mutatja, hogy hány (1, 2 vagy 3) csúccsal rendelkezik az  $i(l)$  intenzitásgörbe. A 9. ábrán a függőleges és vízszintes szaggatott vonal jelképezi a felső lencsetag 1,66 törésmutatóját, tehát e vonalak metszéspontjában helyezkedik el az  $n_a = n_m = 1,66$  eset. Az  $n_m = 1,66$  esetén központi mag nélküli lencséről beszélhetünk,

**Az előző oldalon:** 7. ábra. Mint a 6. ábra, de most bifokális lencsére. A  $G_1, \dots, G_{38}$  címkék a 9. ábra megfelelő címkéihez tartoznak.

mert ugyanakkora a magot körülvevő kalcit törésmutatója is. Ugyanakkor  $n_a = 1,66$  mellett az alsó lencsetag rendelkezik a felsőével azonos törésmutatóval. A vízszintes szaggatott vonal fölötti ( $n_m > n_f = 1,66$ ) tartományban a lencse magja gyűjtőlencseként működik, mivel a törésmutatója nagyobb az öt körülvevő kalcit törésmutatójánál. Következésképpen, a lencse középső tartományának (ahol a magnak hatása van a fényútra) a fókusz tartománya közelebb lesz a lencséhez, mint a széli részek fókusz tartománya. Ehhez hasonlóan, a 9. ábrán a vízszintes szaggatott vonal alatti ( $n_m < n_f = 1,66$ ) tartományban a központi mag szórólencseként működik, és így a lencse közepének fókusz tartománya távolabb csúszik a lencsétől.

A 9. ábrán egy vízszintes vonalon mozogva az  $n_a$  változik, míg az  $n_m$  állandó marad. Például a  $G_1$  pontból a  $G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, B_1, B_2$  és  $G_{13}$  pontokon át a  $B_3$  felé haladva a lencse közepének fókusz távolsága gyakorlatilag változatlanul a lencse aljának közelében marad, a lencse szélének fókusz távolsága viszont változik: a  $G_1$  pontban a lencse széle által fókuszált fény  $i$  relatív intenzitásának  $l \approx 1,4$ -nél van csúcsa és  $l \approx 9$ -nél  $i$  nullára cseng le. A  $G_2, G_3, G_4, G_5$ , és  $G_6$  pontokon áthaladva az intenzitás csúcs távolodik a lencsétől,  $i$  lecsengésének távolsága pedig közeledik a lencséhez. A  $G_6$  és  $B_1$  pontok között megjelenik egy harmadik intenzitás csúcs is (9. ábra). Ekkor tehát egy háromfokuszú (trifokális) lencsével van dolgunk. Az  $n_a$  további növelésével a lencse széle által létrehozott két intenzitás csúcs még közelebb kerül egymáshoz, majd teljesen összeolvad  $G_{13}$ -ban, ahol ismét bifokális lencséről beszélhetünk.  $n_a$  még további növelésével újra trifokálissá válik a lencse.

A 9. ábrán függőlegesen mozogva az  $n_m$  változik állandó  $n_a$  mellett. Például az  $R_{13}$  pontban a lencse mag szórólencseként viselkedik. Mivel az  $i(l)$  görbét csak az  $l < 14$  tartományban vettük föl, a lencse közepe által létrejövő intenzitás csúcsot nem tudjuk fölismerni, mert végtelen távolból közeledik, amint  $n_m$  nő. Az az állapot, ahol már bejön a képbe ez a csúcs, az  $R_{13}$  és  $G_{33}$  pontok között található. E határ jelképezi tehát a 9. ábrán azt, amikor már kezd megjelenni az  $l < 14$  tartományban a lencse központi részének fókusz tartománya. Teljesen hasonló igaz a  $G_{21}$  és  $G_{20}$  pontok fölötti, az  $R_{15}$  és  $R_{16}$  fölötti és a  $G_{19}$  fölötti határra is. Ezek a pontok mind egy görbén fekszenek és mindegyikük a lencse közepe által létrehozott intenzitás csúcs fölismérhetőségének korlátairól árulkodik. E



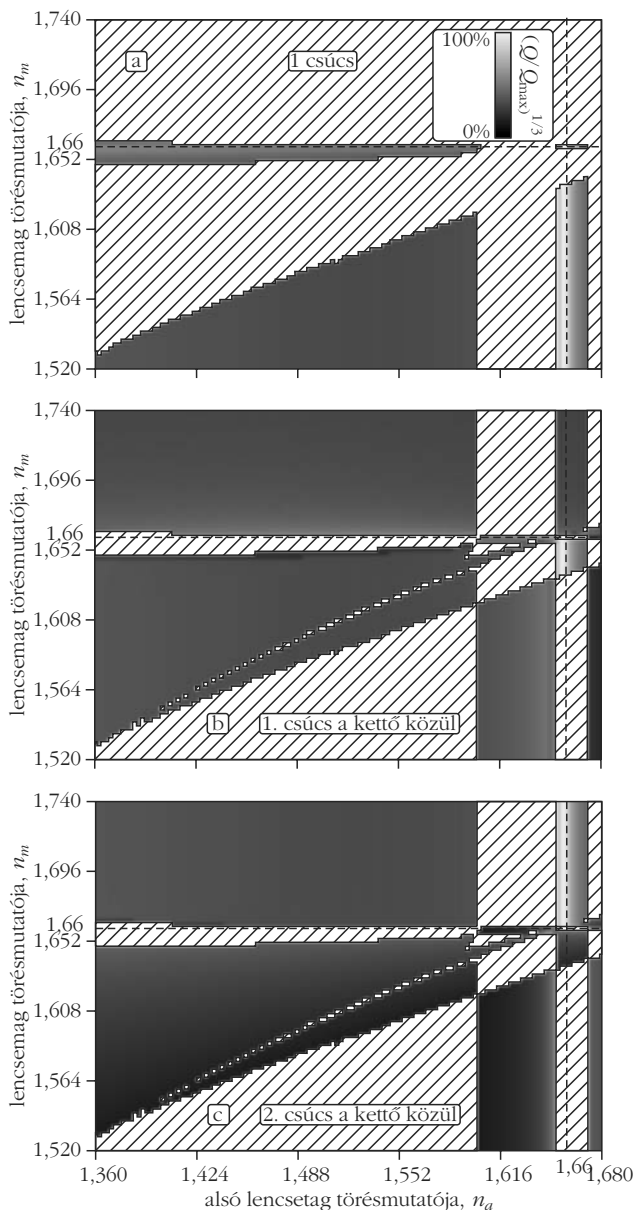
9. ábra. A téglalap oldalai mentén húzódó koordináta-tengelyek az alsó lencsetag  $n_a$  és a lencse mag  $n_m$  törésmutatóihoz tartoznak. A koordináta-rendszer minden pontja egy  $(n_a, n_m)$  paraméterpárt képvisel. A kicsi négyzetek a 6., 7. és 8. ábrákon látható görbékhez tartozó  $(n_a, n_m)$  törésmutatók elhelyezkedését szemléltetik. A különböző szürke árnyalatok (fekete, szürke, fehér) és címkék (R, G, B) az  $i(l)$  relatív intenzitás görbék csúcsainak számát (1, 2, 3) kódolják. A függőleges és vízszintes szaggatott vonalak az  $n_a = 1,66$ , illetve  $n_m = 1,66$  törésmutatót mutatják. A szaggatott szürke görbe azt a határesetet jelzi, mikor a lencsétől legtávolabbi fókuszpont fölismérhetővé válik (távolsága kisebb mint  $14R$ , ahol  $R$  a lencse sugara).

határ fölött található a 9. ábrán egy keskeny sáv egy más szürke árnyalatú tartományba ágyazódva. Itt az történik, hogy a távolból a lencséhez közeledő fókusz tartomány eléri azt a részt, ahol lecseng a lencse szélének fókusz tartománya és ekkor a számítógépes algoritmus 3 intenzitás csúcsot is találhat. Ha azonban a csúcs éppen ráesik e lecsengési részre, akkor 2 markánsabb csúcs alakul ki a  $G_{36}$  pontban. Az  $n_m$ -et tovább növelve a lencse mag az  $R_5$  pontban lényegében eltűnik, mert a törésmutatója eléri a kalcit 1,66 törésmutatóját. Itt a lencse egyfokuszú. A 9. ábrán tovább mozogva fölfelé a fókusz tartomány kettéválik és a  $G_{11}$  és  $G_5$  pontokon áthaladva a lencse közepének fókusz tartománya egyre közelebb kerül a lencséhez.

A 9. ábráról további információkat is leolvashatunk: (i) ha  $n_m < n_f$  akkor a trilobalencse bifokális, viszont a  $\Delta n = n_f - n_m$  különbség kicsi kell hogy legyen ( $< 0,1$ ), mert nagy  $\Delta n$  esetén a lencse mag túlzott mértékben szétszórná a fénysugarakat, nagyon eltávolítaná a lencsétől a mag fókusz tartományát, akár a végtelenbe is. (ii) Ha  $n_m = n_f$  akkor a lencse általában egy éles fókusz ponttal rendelkezik, különösen a 9. ábra  $R_7$  pontjában. Egyedül akkor kapunk bifokális lencsét, ha  $1,6000 < n_a < 1,6525$ . (iii) Ha  $n_m > n_f$  akkor a lencse bifokális.

A 10. ábrán az intenzitás csúcsok  $Q$  élessége, vagyis a fókusz pontok gömbi hibára való korrekciójának mértéke látható az  $n_a$  és  $n_m$  törésmutatók függvényében egy (10.a ábra), kettő (10.b ábra), illetve három (10.c ábra) fókusz esetén.<sup>1</sup> Ha  $Q$  kicsi vagy nagy, akkor a fókusz rendre gyengén vagy jól korrigált a gömbi hibára. A 10.a ábra szerint, amikor monofoká-

<sup>1</sup> Lásd cikkünk I. részében a (15) és (16) definíciókat.



10. ábra. A fókuszpontok  $Q$  élessége [lásd cikkünk I. részében a (15) és (16) definíciókat] az alsó lencsetag  $n_a$  és a lencsemag  $n_m$  törésmutatójának függvényében. (a) Az egyfókuszú tartományokban (a 9. ábrán fekete területek) adódó  $Q(n_a, n_m)$  élességek. (b) A kétfókuszú lencse esetén (a 9. ábrán fehér területek) a lencséhez közelebb eső fókuszhoz tartozó  $Q(n_a, n_m)$  élességek. (c) A kétfókuszú lencse esetén a lencsétől távolabbi fókuszhoz tartozó  $Q(n_a, n_m)$  élességek. Minél sötétebb egy adott pont, annál kisebb a hozzá tartozó  $Q$  érték. Az ábra a  $q = (Q/Q_{\max})^{1/3}$  értékeket kódolja szürke-árnyalatosan  $Q_{\max} = 3096223$  mellett (fekete:  $Q = 0$ ,  $q = 0\%$ ; fehér:  $Q = Q_{\max}$ ,  $q = 100\%$ ). Az (a) ábrán a csíkos területek a 2 vagy 3 fókuszú lencségeket jelzik (a 9. ábrán fehér vagy szürke tartományok). A (b) ábrán a 3 vagy 1 fókuszú lencsékhez tartozó területeket jelöli a csíkozás (a 4. ábrán szürke vagy fekete tartományok).

lis lencséről van szó,  $n_a = 1,655$  és  $n_m = 1,66$  eredményezi a legnagyobb  $Q$  élességet. Ez azt jelenti, hogy nincs is mag a lencsében, és az alsó lencsetag törésmutatója picivel kisebb, mint a felső lencsetagé. A 10.b ábrán a legvilágosabb terület az  $n_m = 1,66$  és  $n_a = 1,66$  törésmutatókat jelképező vízszintes és függőleges szaggatott vonalak metszéspontja alatt helyezkedik el, viszont ugyanez a terület egészen sötét a

10.c ábrán. A 10.c ábrán világosan látszik, hogy a legnagyobb  $Q$  élességeket az előbb említett metszéspont fölött találjuk, azonban a 10.b ábrán itt kicsi  $Q$  értékekkel találkozunk. Egy jól használható bifokális lencsénél mindkét fókusz tartománynak élesnek kell lennie hasonló  $Q$  élességekkel. Az  $n_m = 1,66$  vonal fölött és alatt  $n_a$  viszonylag kis értékeinél (például 1,40) a két intenzitás csúcsához tartozó  $Q$  szinte azonos, ami azt jelenti, hogy mindkét fókusz nagyon hasonlóan használható képalkotásra.

Végeztünk sugárkövetést nem az optikai tengellyel párhuzamosan beeső fénysugarakkal is  $n_m = 1,64$  és  $n_m = n_a = 1,66$  értékek mellett. Az utóbbi a mag nélküli trilobitalencse esete. A sugármenetekből nyilvánvalóan látszott, hogy amint növeljük a beeső nyaláb optikai tengellyel bezárt  $\theta$  szögét, úgy romlik rohamosan a lencse fókuszálása a fókusz tartományok elmosódásával. A *Perga* darázs lárvájában található kéttagú lencsére számolt sugármenetekhez [21] hasonló eredményt adott az általunk vizsgált trilobitalencse is.

## Az eredmények elemzése

Hogy megértsük a *Dalmanites* trilobitafaj összetett szemében található lencsék központi magjának optikai szerepét, számítógépes sugárkövetést végeztünk egy ahhoz hasonló lencsén, amelynek alakját korábban rekonstruálták [8]. A maggal rendelkező lencse felső tagja optikailag homogén kalcitból állt, aminek törésmutatója 1,66 [8]. Bár a lencsemag és az alsó lencsetag eredeti anyaga ismeretlen, az elektronmikroszkópos és hagyományos optikai felvételeken való homogén megjelenéséből arra következtethetünk, hogy eredetileg is optikailag homogén anyagokból állhattak [22].

A trilobita-látás irodalmában [22] a legegyszerűbb modell szerint a lencse felső tagja homogén kalcitból (ami a megkövülés során fennmaradt, ezért kimutatható, hogy a kristálytani c tengely egybeesett az optikai tengellyel), az alsó lencsetag pedig valamilyen szerves homogén anyagból, például hidratált kitinből állt, aminek törésmutatója 1,40 és 1,53 közötti érték volt. Habár a lencsemag hajdani anyaga ismeretlen, homogén maradványának kinézetéből feltételezhető, hogy eredetileg ez is optikailag homogén lehetett. Vizsgálataink [19] képviselik az első próbálkozást a lencsemag jelentőségének magyarázatára.

A több száz millió éves fosszilizáció miatt a lencsében elhelyezkedő mag eredeti összetétele ismeretlen. A hosszú megkövesedési folyamat során a lencseanyag lebomlott és ásványi anyagok kerültek a helyére. A lencsemagnak mindössze az alakja maradt fenn, ami a lencséből készült metszeteken jól kivehető [8]. Ugyanez elmondható az alsó lencsetagról is. Következésképpen, a lencsemag és az alsó lencsetag anyagának törésmutatóját megmérni lehetetlen. Az egyetlen lehetőség, hogy felállítunk egy optikai modellt és sugárkövetéssel tanulmányozzuk. Kézenfekvő volt a legegyszerűbb modelltől indulni: feltételeztük, hogy mindhárom lencsetag (felső és alsó lencsetag, köz-



ponti mag) optikailag homogén volt, térben állandó törésmutatóval. Megmutattuk, hogy az alsó lencsetag és a lencsemag törésmutatójától függően a szóban forgó trilobitalencse gömbi hibára korrigált egy-, két-, illetve háromfókuszú lencseként működhetett. A trifokalitást, mint lehetőséget elvetettük, mivel egy háromfókuszú lencse már inkább hátrányos, mint előnyös, ha bármely állat látásában játszik szerepet, viszont a bifokális, illetve monofokális megoldást elképzelhetőnek tartjuk. Tehát az az egyszerű föltevés, miszerint mindhárom lencsetag optikailag homogén volt, megállja a helyét. Ha a sugárkövetések végeredményei azt mutatnák, hogy egy ilyen homogén elemekből álló háromtagú lencse nem működhetett, akkor lenne értelme bonyolultabb modelleket felállítani és vizsgálni. Egy ilyen modellben például a törésmutatót lehetne helyfüggőnek tekinteni, mint ahogyan az számos rovarfaj szemlencséjére jellemző [23].

Az  $i$  relatív intenzitáseloszlást vizsgáltuk az optikai tengelyen az alsó lencsetag  $n_a$  és a lencsemag  $n_m$  törésmutatójának függvényében. Meghatároztuk azon törésmutató-értékeket, amelyek a vizsgált trilobitalencsét egy-, két-, illetve háromfókuszúvá teszik (9. ábra). A lencsemag kinézete egyértelműen mutatja, hogy más szerkezeti és optikai tulajdonságokkal bír, mint a felső lencsetag, így valószínűleg a törésmutatója is más volt. Annak a lehetőségét korábbi tanulmányok [8] kizárták, hogy a lencsemag nem létezett, amikor a trilobita még élt, és csak később, a megkövesedés során jelent meg a központi mag a lencsében.

Jelen eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a szóban forgó szilur kori *Dalmanites* trilobitafaj szemlencséjében található központi mag szerepe a gömbi hiba korrigálása lehetett a fókuszpontok számától (1, 2 vagy 3) függetlenül. A számításaink eredményeiként adódó  $i(D)$  görbék intenzitáscsúcsai meglehetősen változatosak (6–8. ábrák).

Azokra a törésmutatókra, amelyeket a 9. ábra fehér tartományai képviselnek, a trilobitalencse bifokális. Tehát egy másik lehetséges szerepe a magnak az volt, hogy a lencse bifokalitását tette lehetővé. A lencse széli részének ilyenkor egy jól meghatározott távolságban van a fókuszpontja, a középső résznek pedig attól függően kisebb vagy nagyobb lesz a fókusz távolsága, hogy nagyobb vagy kisebb a lencsemag törésmutatója, mint az őt körülvevő kalcit. A kalcit 1,66 törésmutatója igen nagy, jóval nagyobb mint a szerves anyagoké: például a kitinnek 1,45 és 1,56 között változik a törésmutatója a hidratációs foktól függően [24, 25]. Véleményünk szerint a lencsemag törésmutatója

nem volt nagyobb a kalciténál. Ha kisebb volt, akkor a lencse közepének fókusz távolsága nagyobb volt, mint a széli részeké (7. ábra). Annál nagyobb lehetett a két fókusz távolság közötti különbség, minél kisebb volt a lencsemag törésmutatója.

A trilobitalencsék bifokalitásának jelentőségére Gál és társai [12, 26] mutattak rá. Két ízben is kimutatták a trilobitaszemek e tulajdonságát. Megmutatták, hogy a schizochroális szemlencséjű *Dalmanites socialis* trilobita egyszerre volt képes közeli (például apró, lebegő tárgyak, kicsi szákmányállatok) és távoli (például tengerfenék, fajtársak, ragadozók) tárgyakat élesen látni, mert bifokális szemlencséjével rendelkezett. A retinának ehhez a lencse távolabbi fókusz síkjában kellett elhelyezkednie, amit a lencse széli részei hoztak létre. A *Dalmanites socialis* felső lencsetagjának alsó felületén egy apró dudor volt, amin jobban megtörték a fénysugarak, ezért ez a középső tartomány egy második, a lencséhez közelebb lévő fókuszpontot hozott létre.

E korábbi eredmények szerint [12] az általunk vizsgált szilur kori *Dalmanites* trilobita retinája a szemlencse középső részéhez tartozó fókusz távolságban kellett hogy elhelyezkedjen. Ekkor az állat egyszerre láthatott élesen közeli és távoli tárgyakat, rendre a lencse széli, illetve középső tartományaival. Tehát a *Dalmanites* szemlencséjének belső és széli tartományainak szerepe éppen fordítottja lehetett a *Dalmanites* szemlencséje megfelelő részeinek.

Kettőnél több fókuszpont már túl sok lenne egy összetett szem lencséjének. Ekkor ugyanis túl bonyolulttá válna az alkotott kép, ráadásul túlságosan elmosódott lenne. Ezért a trifokalitást csak mint elméleti lehetőséget említjük, véleményünk szerint ilyen szemlencse nem működhetett jól.

## Irodalom

21. Meyer-Rochow, V. B.: Structure and function of the larval eye of the sawfly, *Perga*. *Journal of Insect Physiology* 20 (1974) 1565–1591.
22. Clarkson, E. N. K.; Levi-Setti, R.; Horváth, G.: The eyes of trilobites: the oldest preserved visual system + Los ojos de los trilobites: el sistema visual más antiguo conservado (spanyolul) *Fundamental* 13 (2008) 1–70.
23. Land, M. F.; Nilsson, D.-E.: *Animal Eyes*. Oxford University Press, (2002) p. 221.
24. Hinton, H.; Jarman, G.: Physiological colour change in the *Hercules* beetle. *Nature* 238 (1972) 160–161.
25. Land, M. F.: The physics and biology of animal reflectors. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 24 (1972) 75–106.
26. Gál, J.; Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.: Reconstruction of the shape and optics of the lenses in the abathochroal-eyed trilobite *Neocobboldia chinlinica*. *Historical Biology* 14 (2000) 193–204.



**Az Eötvös Társulat  
főnt van a **facebook** -on!**



<https://www.facebook.com/pages/Eötvös-Loránd-Fizikai-Társulat/434140519998696?fref=ts>