

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

Egri Ádám, Horváth Gábor
ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

A háromkaréjos ósrákok (trilobiták) kültakarója testszövetbe ágyazódott kalcitból állt [1]. A trilobiták túlnyomó része összetett szemekkel rendelkezett, amelyek lencsési ugyancsak kalcitot tartalmaztak [2–5]. Az első, szemmel rendelkező trilobiták 520 millió évvel ezelőtt jelentek meg a kambriumban, és nagyjából 220 millió éve haltak ki a perm-triász átmenet idején. Csak a megkövesedett bőrszövet (kutikula) és a szemlencsék őrződtek meg, a fotoreceptorok és minden egyéb belső szerv nyomtalanul lebomlott az évszázmilliók alatt. A trilobitaszemek három fajtáját különböztetjük meg: holochroális, schizochroális és abatochroális [6].

A holochroális szem a legősibb a három közül. Ezt sok apró, 10-20 μm átmérőjű, egymás mellett szorosan elhelyezkedő, hatszög vagy kör keresztmetszetű, domború felső és alsó törőfelületű kalcitlencse alkotja. Mivel a kalcit kettőtörő kristály, ezért a belőle álló lencse két képet alkot a lencsétől két különböző távolságban. Egyedül a kristálytani c tengely mentén haladó fénysugár nem válik ketté a kalciton való áthaladáskor. Minden trilobitafaj szemlencséjében a kristálytani c tengely megegyezett az optikai tengellyel, így a kettőtörésből adódó képalkotási probléma minimális volt. Bizonyos trilobitafajok holochroális szeme a fénygazdag környezethez alkalmazkodott, míg másoké a fényszegény viszonyokhoz [7]. A vese alakú holochroális összetett szemmel rendelkező trilobiták inkább a gyéribb fényintenzitásokhoz alkalmazkodtak, és egészen a perm végéig jelen voltak a Földön.

A schizochroális összetett trilobitaszemek egészen nagyok voltak és viszonylag kevés (maximum pár száz) lencsét tartalmaztak [6]. Az alul és felül domború schizochroális lencsék 100-350 μm -es mérete jóval nagyobb volt a holochroális lencsékénél. A schizochroális lencsék ritkán pakolva helyezkedtek el, jól elkülönülve egymástól [6]. Általában két fő elemük volt: a kalcitból álló felső lencsetag és az alsó lencsetag, ami valamilyen szerves anyagból épült föl [6]. Például a *Crozonaspis struvei* trilobitafaj alsó és felső lencsetagját elválasztó határfelület hullámos volt. E Huygens-i hullámos törőfelület szerepe az volt, hogy kiküszöbölje a lencse gömbi hibáját [8–10]. Az alsó lencsetag $n = 1,40$ - $1,53$ közepes törésmutatójának köszönhetően csökkentette a fénysugarak lencsén belüli visszaverődéseit, miközben a nagy törésmutatójú ($n = 1,66$) kalcitból álló felső lencsetagból a kis törésmutatójú ($n = 1,36$) testfolyadékba jutottak [9, 11].

A *Dalmanitina socialis* trilobita felső lencsetagjának alsó felülete közepén egy apró kitüremkedés volt, ami kétfókuszúságot kölcsönzött a lencsének [12]. Ezért e faj annak ellenére láthatott egyszerre élesen távoli és közeli tárgyakat, hogy a szemlencséje merev volt.

A *Phacops rana milleri* és *Eldredgeops rana rana* trilobiták alsó lencsetagjának közepe nagyon elvékonyodott, vagy teljesen hiányzott, továbbá a lencse közepében egy mag fordult elő, aminek anyaga az alsó lencsetagéhoz hasonlított [13]. Néhány más trilobitafaj szemlencséjében is voltak ilyen magok, de kevésbé markánsan. A schizochroális szemek holochroális ősből eredeztethetőek [14].

A schizochroális trilobitaszemeknek a ma élő állatok körében is léteznek megfelelői: például bizonyos rovarlárvák pontszemei (*stemma*) ugyancsak két lencsetagból állnak [15]. A schizochroális szemre különleg leginkább hasonlító szemmel a Strepsipterák rendjébe tartozó rovarok rendelkeznek. Szemlencséik az apró, összetett szemhez képest nagyok. Minden lencséjük alatt egy-egy retina található [16]. E feltűnő alaki hasonlóságból kifolyólag feltételezhető, hogy az egyes schizochroális trilobitalencsék alatt is 1000 vagy akár még több fotoreceptor alkotott önálló retinát [6, 14].

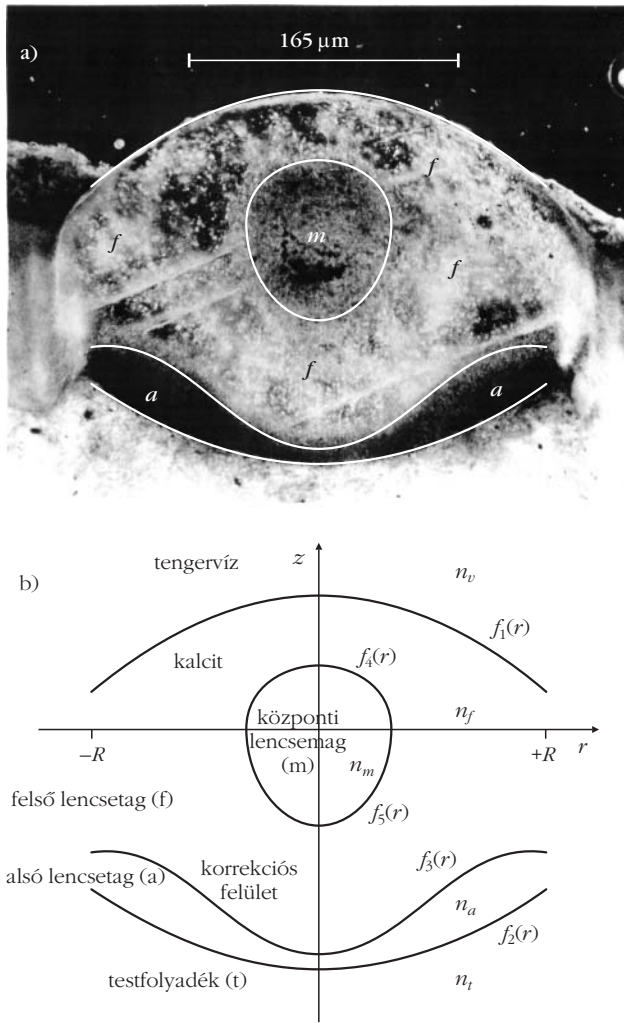
Az abatochroális trilobitaszem a schizochroális szemhez hasonló, de a lencsék között nincs kutikuláris elválasztó réteg, és a lencsék rendezetlenebbül helyezkednek el benne [17]. Az abatochroális szemű *Neocobboldia chinlinica* alsó lencsetagján volt egy apró dudor, ami a lencse kétfókuszúságához vezetett, így e trilobita is egyszerre láthatott élesen közelre és távolra. A trilobitaszemekről további érdekes részletek olvashatók [14] és [18]-ban.

A trilobitalencsék központi magjának elméletileg lehetett mechanikai szerepe is (például szilárdság növelése), bár ez nem valószínű, mivel maga a felső lencsetag, amely tartalmazta e rejtélyes magot, kalcitból állt, ami önmagában is elég erős anyag. A lencsemagnak inkább optikai szerepe lehetett. Úgy gondoljuk, hogy a lencsemag az egy- vagy kétfókuszúságot biztosította a gömbi hiba kiküszöbölése mellett. Cikkünkben e föltevést vizsgáljuk meg egy tipikus, maggal rendelkező trilobitalencsén végzett számítógépes sugárkövetéssel. Bemutatjuk az ezzel kapcsolatos eredményeinket [19] és megmutatjuk, hogy melyek azok a körülmények, amelyek esetén a lencse egy vagy két éles fókusszal rendelkezik.

Vizsgálati módszerek

A központi maggal rendelkező trilobitalencse alakja

A központi lencsemag homogénnek tűnő volta arra enged következtetni, hogy korábban is homogén lehetett [6]. A fosszilis maradványok szerint a megkövesedés során a lencsemag helyzete, mérete és alakja



1. ábra. (a) A szilur kori *Dalmanites* központi magot tartalmazó szemlencsájének főtengelybeli, optikai tengellyel párhuzamos metszete [8] 3. ábrája, 664. oldal). *m*: központi lencsemag; *f*: felső lencsetag; *a*: alsó lencsetag. (b) A *Dalmanites* szemlencsájének törőfelületeit leíró függvények. $f_1(r)$: külső (felső) lencsefelület; $f_2(r)$: belső (alsó) lencsefelület; $f_3(r)$: az alsó és felső lencsetag határfelülete; $f_4(r)$: a lencsemag felső felülete; $f_5(r)$: a lencsemag alsó felülete; R : a lencse sugara; n_v : a tengervíz törésmutatója; n_f : a felső lencsetag törésmutatója; n_a : az alsó lencsetag törésmutatója; n_m : a lencsemag törésmutatója; n_t : a testfolyadék törésmutatója; z : a lencse optikai tengelye, ami egyben a forgásszimmetria tengelye is.

nem változott [14]. A szilur kori *Dalmanites* trilobitafaj tipikus maggal rendelkező szemlencsáját vizsgáltuk (1.a ábra). A szemlencse optikai tengellyel párhuzamos főtengelymetszete [8]-ból származik. A legkisebb négyzetek módszerével a főtengelymetszetben a következő öt függvényt illesztettük a törőfelületekre az r - z koordináta-rendszerben (1.b ábra): $f_1(r)$ a külső lencsefelület, $f_2(r)$ a belső lencsefelület, $f_3(r)$ az alsó és felső lencsetag határfelülete, $f_4(r)$ a központi lencsemag felső felülete, $f_5(r)$ a mag alsó felülete, ahol $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$. Ez az öt függvény szolgáltatja a vizsgált lencse matematikai modelljét, ahol az optikai tengely maga a z tengely, ami egyben a forgásszimmetria tengelye is. Feltételeztük, hogy a külső lencsefelszín tengervízzel érintkezett (hiszen a trilobiták tengerben éltek), aminek törésmutatója $n_v = 1,33$, a belső lencse-

felület pedig az $n_t = 1,36$ törésmutatójú testfolyadékkal. A kalcitból álló felső lencsetag törésmutatója $n_f = 1,66$. Az alsó lencsetag n_a és a lencsemag n_m törésmutatóját szabad paramétereknek vettük.

A szilur kori *Dalmanites* szemlencsáját leíró öt függvény alakja a következőnek adódott (1. ábra):

$$\begin{aligned}
 f_1(r) &= A_1 + B_1 r^2, \\
 f_2(r) &= A_2 + B_2 r^2, \\
 f_3(r) &= A_3 + B_3 \cos(C_3 r), \\
 f_4(r) &= \begin{cases} A_4 \sqrt{1 - \frac{r^2}{B_4^2}} & |r| \leq B_4, \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}, \\
 f_5(r) &= \begin{cases} A_5 \sqrt{1 - \frac{r^2}{B_5^2}} & |r| \leq B_5, \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$A_1 = 0,572039 R, \quad B_1 = -0,425220 / R,$$

$$A_2 = -1,065815 R, \quad B_2 = 0,358080 / R,$$

$$A_3 = -0,774962 R, \quad B_3 = -0,224472 R,$$

$$C_3 = 3,368190 / R, \quad A_4 = 0,268429 R,$$

$$B_4 = 0,316354 R, \quad A_5 = -0,437346 R,$$

$$B_5 = B_4,$$

ahol R a lencse sugara és $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Sugárkövetés a lencsén keresztül

Az előbbieken definiált lencsére (1. ábra) háromdimenziós számítógépes sugárkövetést alkalmaztunk.

Egy fénysugár és a törőfelület metszéspontja

Képzelnünk el a 3-dimenziós térben egy törőfelületet, amit az $f(x, y)$ kétváltozós függvény ír le, és egy fénysugarat, ami a $\mathbf{p}_0 = (p_{0x}, p_{0y}, p_{0z})$ pontból indul az $\mathbf{e}_0 = (e_{0x}, e_{0y}, e_{0z})$ egységvektorral jellemzett irányba (2. ábra). A fénysugár útja paraméteres formában a következőképpen írható le:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{p}(t) &= \mathbf{p}_0 + \mathbf{e}_0 t \rightarrow x(t) = x_0 + e_{0x} t \\
 & y(t) = y_0 + e_{0y} t \quad (2) \\
 & z(t) = z_0 + e_{0z} t,
 \end{aligned}$$

ahol t a paraméter. A fénysugár és az $f(x, y)$ felület metszéspontjához tartozó t érték a következő egyenletből számítható:

$$f(x_0 + e_{0x} t, y_0 + e_{0y} t) = z_0 + e_{0z} t. \quad (3)$$

Fénytörés a lencse felületein

Miután meghatároztuk a fénysugár metszéspontját a törőfelülettel, a Snellius–Descartes-törvény segítségével kiszámítható a megtört fénysugár iránya. Az $f(x,y)$ törőfelület normálvektora (2. ábra):

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2}{|\mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2|}, \quad \text{ahol } \mathbf{e}_1 = \left(1, 0, \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right), \quad (4)$$

$$\mathbf{e}_2 = \left(0, 1, \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right).$$

A határfelületen áthaladó, majd megtört fénysugár új irányát megadó egységvektor:

$$\mathbf{e}_{\text{új}} = \frac{\mathbf{e}_{\text{előző}}}{n} - \left(\cos\beta - \frac{\cos\alpha}{n}\right)\mathbf{N}, \quad (5)$$

ahol α és β a bejövő és megtört fénysugár beesési merőlegestől mért szöge, és $n = n_{\text{új}}/n_{\text{előző}}$ a relatív törésmutató (2. ábra): ha $n_{\text{előző}} = n_0$, akkor $n_{\text{új}} = n_1$, és ha $n_{\text{előző}} = n_1$, akkor $n_{\text{új}} = n_2$.

A lencse alatt kialakuló fényintenzitás eloszlása

A lencsén és annak $f_1(r), f_2(r), f_3(r), f_4(r)$ és $f_5(r)$ függvények által leírt, (1) szerinti törőfelületein áthaladó sugarakat tanulmányoztuk (1. ábra). Ezt az öt függvényt a z tengely körül megforgatva kapjuk a forgásszimmetrikus szemlencse 3-dimenziós modelljét. Képzeljünk el egy ilyen lencsét, amit felülről világítunk meg az optikai tengellyel párhuzamos, kör keresztmetszetű fénynyalábbal! Ekkor a nyaláb és a lencse is forgásszimmetrikus, ezért a geometriai optikai probléma 2-dimenzióssá egyszerűsíthető: osszuk föl a megvilágító homogén nyaláb keresztmetszetét m darab koncentrikus zónára (például $m = 10$ a 3. ábrán). A $k = 1$ -hez tartozó zóna egy r sugarú körlap, míg azon zónák amelyekre $1 < k < m$, gyűrűk, amelyek vastagsága:

$$r = \frac{R}{m}, \quad (6)$$

ahol R a lencse sugara és $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$. A k -edik zóna területe:

$$A_k = (k r)^2 \pi - [(k-1)r]^2 \pi = (2k-1)r^2 \pi = \frac{(2k-1)R^2 \pi}{m^2}, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

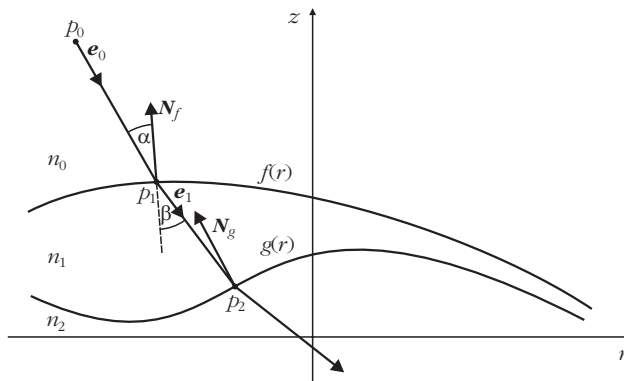
a bejövő nyaláb keresztmetszete pedig (3.a ábra):

$$A_{\text{nyaláb}} = R^2 \pi. \quad (8)$$

A teljes nyaláb fényerőssége:

$$P_{\text{nyaláb}} = I_{\text{nyaláb}} A_{\text{nyaláb}}, \quad (9)$$

ahol $I_{\text{nyaláb}}$ a homogén nyaláb intenzitása. A k -edik zóna fényerőssége:

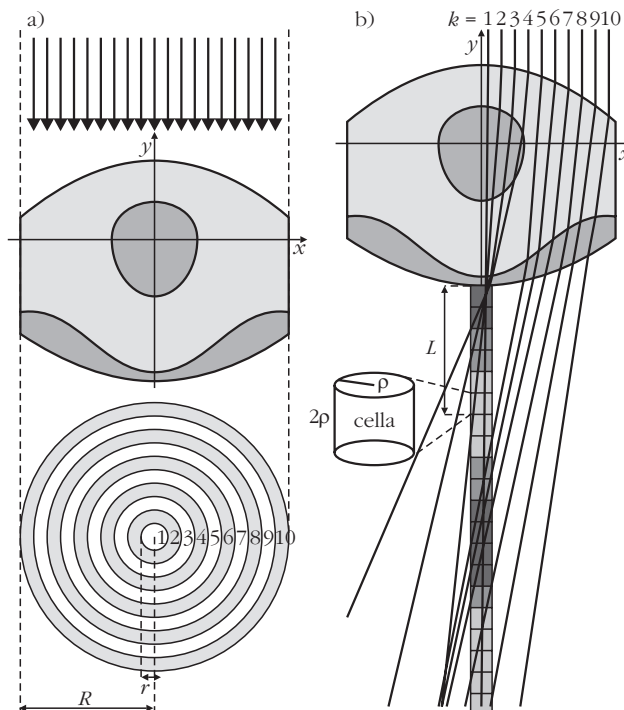


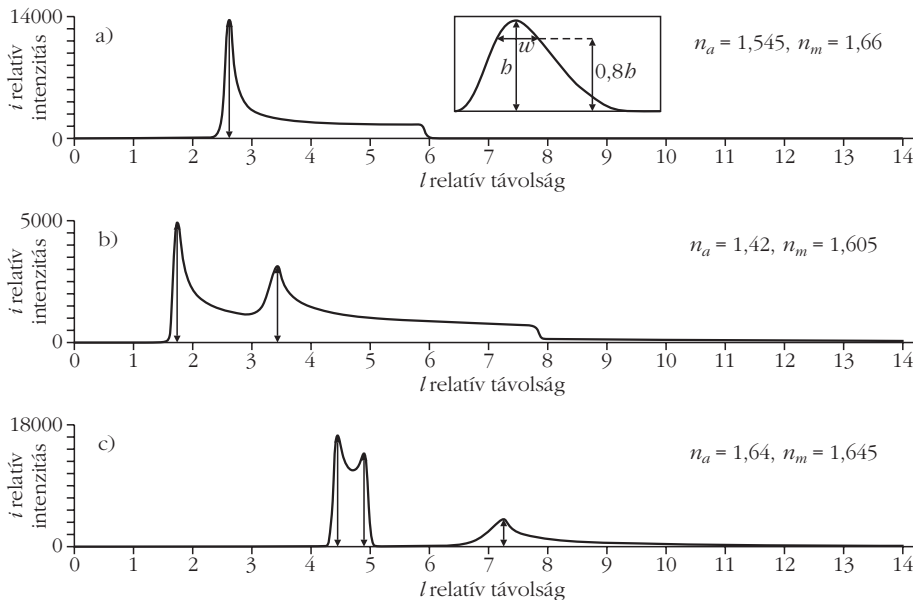
2. ábra. A P_0 pontból \mathbf{e}_0 irányba induló fénysugár útja két törőfelületen keresztül, ahol a felületek metszetét leíró függvény $f(r)$ és $g(r)$. A különböző tartományok törésmutatói n_0, n_1 és n_2 . A fénysugár először a P_1 pontban tör meg és \mathbf{e}_1 irányában halad tovább. Az α és β a bejövő és megtört fénysugár beesési merőlegestől mért szöge. Az $f(r)$ és $g(r)$ függvények normálvektorait \mathbf{N}_f és \mathbf{N}_g jelöli rendre a P_1 és P_2 pontban. Az $\mathbf{e}_0, \mathbf{e}_1, \mathbf{N}_f$ és \mathbf{N}_g egységvektorok.

$$P_k = \frac{P_{\text{nyaláb}} A_k}{A_{\text{nyaláb}}} = I_{\text{nyaláb}} A_k, \quad (10)$$

ahol A_k a k -edik zóna keresztmetszetének területe. Kiszámítottuk a lencse alatt az optikai tengely mentén a fényintenzitást. Definiáltunk egy henger alakú, $14R$ hosszúságú, $\rho = 0,002R$ sugarú tartományt, amit 2ρ hosszúságú elemi cellákra osztottunk föl (3.b ábra). Így az optikai tengely mentén a lencse alatt 3500 elemi cellát kaptunk. Az optikai tengellyel párhuzamo-

3. ábra. (a) A beeső párhuzamos sugarakból álló fénynyaláb felosztása $m = 10$ zónára. (b) Sugárkövetés a központi maggal rendelkező trilobitallencsén keresztül az optikai tengelyen kialakuló intenzitásmintázat számításához. Minél sötétebb egy cella (sugár: ρ , magasság: 2ρ), annál több fénysugár halad át rajta.





4. ábra. Példák a központi maggal rendelkező trilobalencse (1. ábra) optikai tengelyének mentén kialakuló $i = I/I_{nyaláb}$ relatív intenzitás az $l = L/R$ relatív távolság függvényében. (a) Egy intenzitáscsúcs, $n_a = 1,545$, $n_m = 1,66$. (b) Két intenzitáscsúcs, $n_a = 1,42$, $n_m = 1,605$. (c) Három intenzitáscsúcs, $n_a = 1,64$, $n_m = 1,645$. Az (a) betétabráján látható a $Q = b/w$ csúcstelenség definíciója, ahol b a csúcs magassága, w pedig a csúcs $i = 0,8b$ magasságához tartozó szélessége.

san beeső fénynyaláb mellett egy adott lencsezónából érkező minden beeső fénysugár az optikai tengely ugyanazon pontjában, azaz ugyanabban az elemi cellában metszi az optikai tengelyt. A metszéspontot minden egyes fénysugárra a fönt bemutatott sugárkövetéssel számoltuk. A számítás első lépéseként minden cellához 0 értéket rendeltünk. Ezután $m = 500\,000$ fénysugár útját követtük végig a lencsén keresztül. A k -edik beeső fénysugár a k -edik gyűrűzóna járulékát képviselte. A megtört fénysugár lencséből való kilépése után kiszámítottuk az optikai tengellyel való metszéspontját, és meghatároztuk azon cellákat, amelyekben áthaladt. Minden olyan cella tartalmát, amit érintett a nyomon követett fénysugár, a következő mennyiséggel növeltük:

$$\Delta I_k = \frac{P_k}{A_{cella}}, \quad (11)$$

ahol $A_{cella} = \rho^2 \pi$ a cella keresztmetszetének területe. (10) és (11)-ből következik:

$$\Delta I_k = \frac{I_{nyaláb} A_k}{\rho^2 \pi}. \quad (12)$$

Az összes m fénysugárra elvégezve az előbbi eljárást, az optikai tengelyen a cellákban (3.b ábra) megkapjuk az I intenzitást a lencsétől mért L távolság függvényében (3.b ábra). A továbbiakban az $i = I/I_{nyaláb}$ relatív intenzitást és a lencsétől mért $l = L/R$ relatív távolságot tekintjük. $\Delta n_a = \Delta n_m = 0,0025$ törésmutatófelbontással vizsgáltuk, hogy az $i(l)$ függvény alakja miként függ az alsó lencsetag és a központi lencsemag n_a és n_m törésmutatójától a következő paramétertartományokban:

$$\begin{aligned} n_a &= 1,545, n_m = 1,66 & 1,36 < n_a < 1,68, \\ & & 1,52 < n_m < 1,74. \end{aligned} \quad (13)$$

A paraméterek így módon történő behatárolásának magyarázata a következő: az alsó lencsetag n_a törésmutatója nem lehetett kisebb, mint az alatta levő testfolyadéké ($n_t = 1,36$) és nem lehetett sokkal nagyobb, mint a fölötte levő kalcité ($n_f = 1,66$). Másrészt, a lencsemag n_m törésmutatója nem lehetett kisebb, mint a száraz kité ($1,56$) és nem érte el a guaninét ($1,80$). n_a és n_m különböző értékei eltérő $i(l)$ görbékhez vezetnek egy (4.a ábra), kettő (4.b ábra) vagy három (4.c ábra) csúccsal. Így a központi maggal bíró trilobalencsék a törésmutatóktól függően egy-, két-, illetve háromfókuszúak lehetnek. Minden $i(l)$ görbét Gauss-simításnak vetettük alá:

$$i(D)_{simított} = \int_{k=-\alpha}^{\alpha} i(l) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(l-k)^2}{2\sigma^2}} dk, \quad (14)$$

ahol $\sigma = 0,02R (= 10$ cellahossz) és $\alpha = 5\sigma$. Az $i(l)$ relatív intenzitásgörbén minden csúcs és környezete egy fókuszstartományt alkot. A fókuszstartomány élességét a

$$Q = \frac{b}{w} \quad (15)$$

mennyiséggel definiáltuk, ahol b az intenzitáscsúcs magassága, w pedig az $i = 0,8b$ magassághoz tartozó szélessége (4.a ábra). A Q mennyiséget a gömbi hiba kiküszöbölése mérőszámának tekintjük. Egy adott intenzitáscsúcs w szélességének $0,8b$ magassághoz való rendelése önkényesnek tűnik, azonban ha kisebbre választjuk az intenzitást (például $i = 0,5b$), akkor egyre nehezebbé válik két közeli intenzitáscsúcs automatikus fölismerése (4.c ábra). Így tehát nagy b és kicsi w vezet nagy Q értékekhez, azaz éles fókuszáláshoz. Csúcsnak azokat a helyeket tekintettük, amelyekre igazak a következő feltételek:

$$i(l_{i-1}) < i(l_i) > i(l_{i+1}) \text{ és } Q \geq 4000. \quad (16)$$

Tapasztalataink azt mutatták, hogy a $Q^* = 4000$ küszöbérték megfelelő volt, hogy minden intenzitáscsúcsot föl tudjunk ismerni. Természetesen, az $i(l)$ alakja függ m -től is. Ha m túl kicsi, akkor hamis eredményt kapunk. Megvizsgáltuk, hogy miként függ m nagyságától az $i(l)$, és arra jutottunk, hogy ha $m < 10^3$, akkor $i(l)$ erősen változik m -mel, míg ha $m > 10^5$, akkor már nincs jelentős változás az $i(l)$ -ben, hiába növeljük m -et.

A 2-dimenzióra egyszerűsített és a valódi 3-dimenziós sugárkövetés összehasonlítása

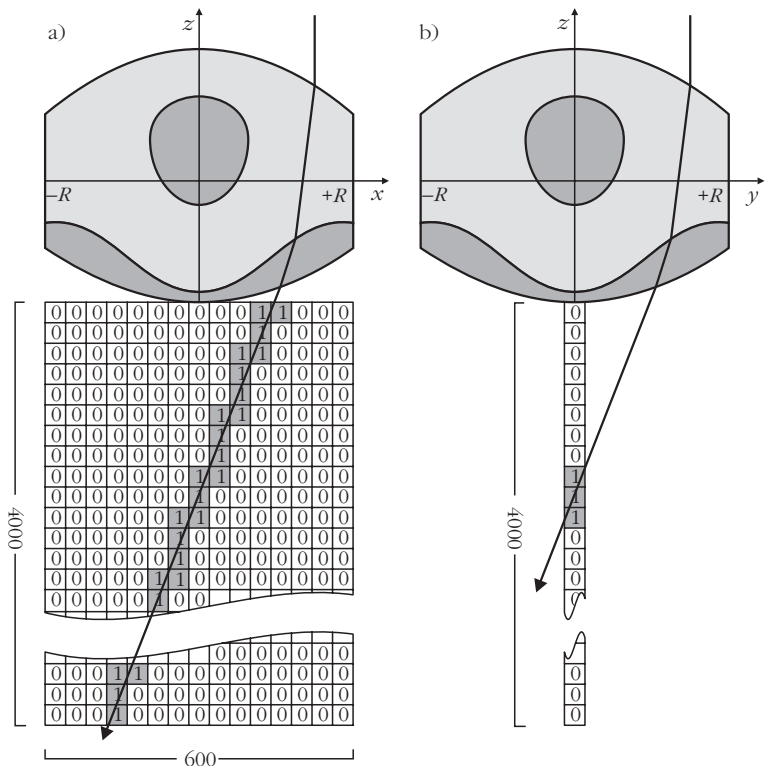
Hogy megbizonyosodjunk arról, hogy jó eredményt kapunk a fönti 2-dimenziósra egyszerűsített sugárkövetéssel, 3-dimenziós számításokat is végeztünk. A sugárkövetés folyamata teljesen hasonló három dimenzióban is, csak a törőfelületeket leíró $f_1(x, y)$, ... $f_5(x, y)$ függvények ekkor kétváltozósak (x, y) és 3-dimenziós vektorokkal kell számolnunk. Egy korábbi munkánkban [20] éppen e módszert alkalmaztuk, ahol napsütötte vízcseppek alatt kialakuló fényintenzitás-mintázatokat számítottunk. A 3-dimenziós számításban a lencse alatti x - z síkban egy 600×4000 elemből álló mátrixot definiáltunk (5. ábra). Kezdetben minden mátrixelem 0 értéket kapott. Minden fénysugár útját végigkövettük a lencsén, majd miután alul kilépett abból, meghatároztuk azon mátrixelemeket, amelyeket a vizsgált sugár érintett, majd 1-gyel növeltük a mátrixelemek értékét. $4 \cdot 10^6$ fénysugarat követtünk így nyomon, amelyek egy, a lencse fölötti, az optikai tengelyre merőleges, négyzet alakú tartományból érkeztek. A számítás végére a mátrix a lencse alatti térfogatban levő hengersizmetrikus intenzitáseloszlás főtengelemzetével arányosan töltődött fel értékekkel. A mátrix 300-adik oszlopa tartalmazta az optikai tengelyen mérhető intenzitáseloszlást. A 2- és 3-dimenziós számolás eredményét összevetve, ugyanazt az eredményt kaptuk. Mivel a 3-dimenziós térben végzett sugárkövetés sokkal több számítógépidőt igényel, ezért a 2-dimenzióra egyszerűsített sugárkövetést alkalmaztuk.



Cikkünk II. részében a számítógépes sugármenet-követéssel kapott paleo-biooptikai eredményeinket mutatjuk be a *Dalmanites* trilobita központi magot tartalmazó szemlencséje esetén.

Irodalom

- Whittington, H. B.: *Fossils Illustrated 2 – Trilobites*. Boydell Press, Woodbridge, England, 1992.
- Towe, K. M.: Trilobite eyes: calcified lenses in vivo. *Science* 179 (1973) 1007–1009.
- Clarkson, E. N. K.: The visual system of trilobites. *Palaeontology* 22 (1979) 1–22.
- Levi-Setti, R.: *Trilobites*. (2nd ed.) University of Chicago Press, Chicago and London, 1993.
- Thomas, A. T.: Developmental palaeobiology of trilobite eyes and its evolutionary significance. *Earth Science Reviews* 71 (2005) 77–93.
- Levi-Setti, R.; Clarkson, E. N. K.; Horváth, G.: The Eye: Paleontology. In: *Frontiers of Biology – Italian Encyclopedia. Part I. Origin and Evolution of Life. Section 7. Construction of the Organism*. Eds.: D. Baltimore, R. Dulbecco, F. Jacob, R. Levi-Montalcini (2002) 379–395.
- McCormick, T.; Fortey, R. A.: Independent testing of a paleobiological hypothesis: the optical design of two pelagic trilobites reveals their relative palaeobathymetry. *Paleobiology* 24 (1998) 235–253.
- Clarkson, E. N. K.; R. Levi-Setti: Trilobite eyes and the optics of Des Cartes and Huygens. *Nature* 254 (1975) 663–667.



5. ábra. A központi maggal rendelkező trilobitalencse alatti intenzitáseloszlás számítása az x - z síkban definiált 600×4000 méretű mátrixban, aminek elemeit kezdetben 0-ra állítjuk. Minden egyes cella értékét, amit érint egy fénysugár 1-gyel növeljük. Példaként két ilyen fénysugarat láthatunk [(a), (b)], amelyek a $\mathbf{p}_A = (0, 75R, 0, R)$ és $\mathbf{p}_B = (0, 0, 75R, R)$ pontokból indultak, ahol R a lencse sugara.

- Horváth, G.: Geometric optics of trilobite eyes: a theoretical study of the shape of aspherical interface in the cornea of schizochroal eyes of phacopid trilobites. *Mathematical Biosciences* 96 (1989) 79–94.
- Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.: Computational reconstruction of the probable change of form of the corneal lens and maturation of optics in the post-ecdysial development of the schizochroal eye of the Devonian trilobite *Phacops rana milleri* Stewart 1927. *Journal of Theoretical Biology* 160 (1993) 343–373.
- Horváth, G.: The lower lens unit in schizochroal trilobite eyes reduces reflectivity: on the possible optical function of the intralensar bowl. *Historical Biology* 12 (1996) 83–92.
- Gál, J.; Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.; Haiman, O.: Image formation by bifocal lenses in a trilobite eye? *Vision Research* 40 (2000) 843–853.
- Lee, M.; Torney, C.; Owen, A. W.: Magnesium-rich intralensar structures in schizochroal trilobite eyes. *Palaeontology* 50 (2007) 1031–1038.
- Clarkson, E.; Levi-Setti, R.; Horváth, G.: The eyes of trilobites: The oldest preserved visual system. *Arthropod Structure and Development* 35 (2006) 247–259.
- Horváth, G.; Clarkson, E. N. K.; Pix, W.: Survey of modern counterparts of schizochroal trilobite eyes: structural and functional similarities and differences. *Historical Biology* 12 (1997) 229–263.
- Buschbeck, E.; Ehmer, B.; Hoy, R.: Chunk versus point sampling: visual imaging in a small insect. *Science* 286 (1999) 1178–1180.
- Zhang, X. G.; Clarkson, E. N. K.: The eyes of Lower Cambrian eodiscid trilobites. *Palaeontology* 33 (1990) 911–933.
- Horváth, G.: *Biooptika: a geometriai optika biológiai alkalmazásai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2004.
- Egri, Á.; Horváth, G.: Possible optical functions of the central core in lenses of trilobite eyes: spherically corrected monofocality or bifocality. *Journal of the Optical Society of America A* 29 (2012) 1965–1976.
- Egri, Á.; Horváth, Á.; Kriska, G.; Horváth, G.: Optics of sunlit water drops on leaves: Conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist* 185 (2010) 979–987. + cover picture + electronic supplement.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat
havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: A Magyar Tudományos
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,
a Nemzeti Erőforrás Minisztérium,
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 zárt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

A gyorsan mozgó zéta Ophiuchi
óriáscsillag szele által keltett
lökéshullám a csillagot beágyazó
interstelláris anyagban. A felvételt a
Spitzer űrteleszkóppal készítették
(forrás: NASA/JPL-Caltech).
Sok más új keletű kép és hasznos
információ található e számunk
tanároknak szóló, Van új a Föld felett
című csillagászati mellékletében,
valamint annak az interneten elérhető
bővített változatában.

TARTALOM

Szabó Róbert, Szabó M. Gyula: Kepler-bolygók kavalkádjá	217
Serényi Miklós, Csik Attila: Hidrogéntartalmú amorf szilícium/germánium multiréteg strukturális stabilitása – II. rész	222
Egri Ádám, Horváth Gábor: Gömbhibamentes egy- és kétfókuszúság: a trilobitalencsék magjának optikai szerepe – I. rész	226
Kertész Krisztián, Piszter Gábor, Vértessy Zsófia, Biró László Péter: Színek harmóniája: a boglárkalepkék szerkezeti kék színének fajfelismerési szerepe – I. rész	231
Hágen András: Az erdélyi iguanodon nyomfossziliából becslült mozgássebessége	234
Wirth Lajos: Kétszázötven éves a newtoni fizika hazánkban – Kerekgedei Makó Pál pályaképe	237
A. Szála Erzsébet: Szily Kálmán emlékezete	242
A FIZIKA TANÍTÁSA	
Egri Sándor, Máth János: Fizikatanítás: mit, hogyan, kinek?	244
Stonauski Tamás: A követési távolság fizikája	248
Csörgő Tamás: Hogyan csinálhatunk kvarkanyagból Higgs-bozont? – II. rész	252
Nagy Mária, Radnóti Katalin: Problémamegoldás a Boltzmann-eloszlás témakörében	257
Radnóti Katalin: XVI. Szilárd Leó Nukleáris Tanulmányi Verseny – 1. rész	261
Baranyai Klára: Olvadó jéghegyek, melegedő tengerek	267
A legnagyobb citromerőmű	269
VÉLEMÉNYEK	
Válasz György: A klímaváltozásokról	270
Kérdés válasz nélkül (Trócsányi Zoltán, Horváth Dezső)	276
KÖNYVESPOLC	277
HÍREK – ESEMÉNYEK	279

R. Szabó, M. J. Szabó: Kepler planets discovered by the dozen
M. Serényi, A. Csik: The structural stability of a multilayer system of amorphous silicon/germanium
paired elements – part II
Á. Egri, G. Horváth: Spherically corrected monofocality or bifocality: optical functions of the central
core in lenses of trilobite eyes – part I
K. Kertész, G. Piszter, Z. Vértessy, L. P. Biró: The well-tuned blue: the role of structural colours
as optical signals in species recognition of a local butterfly fauna – part I
A. Hágen: The estimation of dinosaur velocities based on the analysis of their footprints
L. Wirth: Two and a half centuries ago: Newton's physics presented in Hungary by P. Makó
E. A. Szála: Remembrance K. Szily

TEACHING PHYSICS

S. Egri, J. Máth: Teaching physics: what, how, to whom?
T. Stonauski: The physics of safety gaps
T. Csörgő: How to "make" a Higgs-boson using quark matter – part II
M. Nagy, K. Radnóti: The solving of Boltzmann distribution problems
K. Radnóti: Report on the XVI. Leo Szilárd Contest in nuclear physics – part I
K. Baranyai: Melting icebergs, warmer oceans
The biggest lemon power station

OPINIONS

G. Válasz: On climate changes
Question without answer (Z. Trócsányi, D. Horváth)

BOOKS, EVENTS

R. Szabó, M. J. Szabó: Kepler-Planeten zu Dutzenden entdeckt
M. Serényi, A. Csik: Die strukturelle Stabilität eines Vielplattensystems aus Elementen mit den zwei
Schichten amorphes Si und Ge – Teil II.
Á. Egri, G. Horváth: Abbildung mit einfachen und doppelten Brennweiten ohne sphärische
Verzerrungen: ein Ergebnis spezieller Linsen bei Trilobiten – Teil I.
K. Kertész, G. Piszter, Z. Vértessy, L. P. Biró: Harmonie der Farben: die Rolle des strukturell bestimmten
Blaus als optischem Signal zur Erkennung der artemigenen Schmetterlinge – Teil I.
A. Hágen: Die Abschätzung der Geschwindigkeit von Dinosauriern aufgrund ihrer Tretpuren
L. Wirth: Vor zweihundertfünfzig Jahren: die newtonsche Physik in Ungarn, dargestellt von P. Makó
E. A. Szála: Erinnerungen an K. Szily

PHYSIKUNTERRICHT

S. Egri, J. Máth: Physikunterricht: was, wie, für wen?
T. Stonauski: Die Physik der sicheren Folgeabstands
T. Csörgő: Wie man ein Higgs-Boson aus Quarkmaterial erhält – Teil II.
M. Nagy, K. Radnóti: Die Lösung von Aufgaben über Boltzmann-Verteilungen
K. Radnóti: Bericht über den XVI. Leo-Szilárd-Wettbewerb in Kernphysik – Teil I.
K. Baranyai: Schmelzende Eisberge, wärmere Meere
Das größte Zitronen-Kraftwerk

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

G. Válasz: Über Klimaänderungen
Frage ohne Antwort (Z. Trócsányi, D. Horváth)

BÜCHER, EREIGNISSE

ВНИМАНИЕ! По техническим причинам русская часть оглавления печатается отдельно на конце журнала.

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:

