

## Explorând proprietățile fizice ale obiectelor-imagini

Rezoluția ochiului uman este limitată nu numai de densitatea de fotoreceptori din retină, așa cum am investigat în primul experiment, ci și de fenomenul fizic al difracției optice. Difracția se observă atunci când un fascicul de lumină trece de marginile unui obiect opac sau printr-un orificiu îngust, având ca rezultat devierea aparentă a razelor. Ea se datorează proprietăților ondulatorii ale luminii. Difracția impune o limită inferioară fundamentală pentru rezoluția ochiului. Înțelegerea modului în care această limită depinde de structura biologică a ochiului este crucială pentru interpretarea rezultatelor obținute în primul experiment.

Atunci când lumina dintr-o sursă punctiformă trece printr-o deschidere circulară mică, așa cum este pupila ochiului, ea nu se transmite ca un punct luminos, ci ca un disc luminos difuz înconjurat de inele concentrice, inele tot mai estompate înspre exterior. Acest model al difracției este determinat de interferențele constructivă și distructivă ale undelor de lumină. Spotul central al modelului produs este numit disc Airy, iar întregul model de difracție, inclusiv discul Airy, este cunoscut sub numele de model Airy (numit după matematicianul și astronomul britanic George Biddell Airy [1801-1892]). Prin măsurarea intensității luminii în întregul model Airy, putem trasa un grafic care descrie modelul în termeni cantitativi, grafic numit funcție de dispersie punctuală.

În acest experiment, elevii vor obține funcția de dispersie punctuală prin analizarea modelelor Airy publicate pe web, folosind software-ul gratuit ImageJ (software creat în tehnologie Java).

### Materiale

- Calculator
- Acces la internet

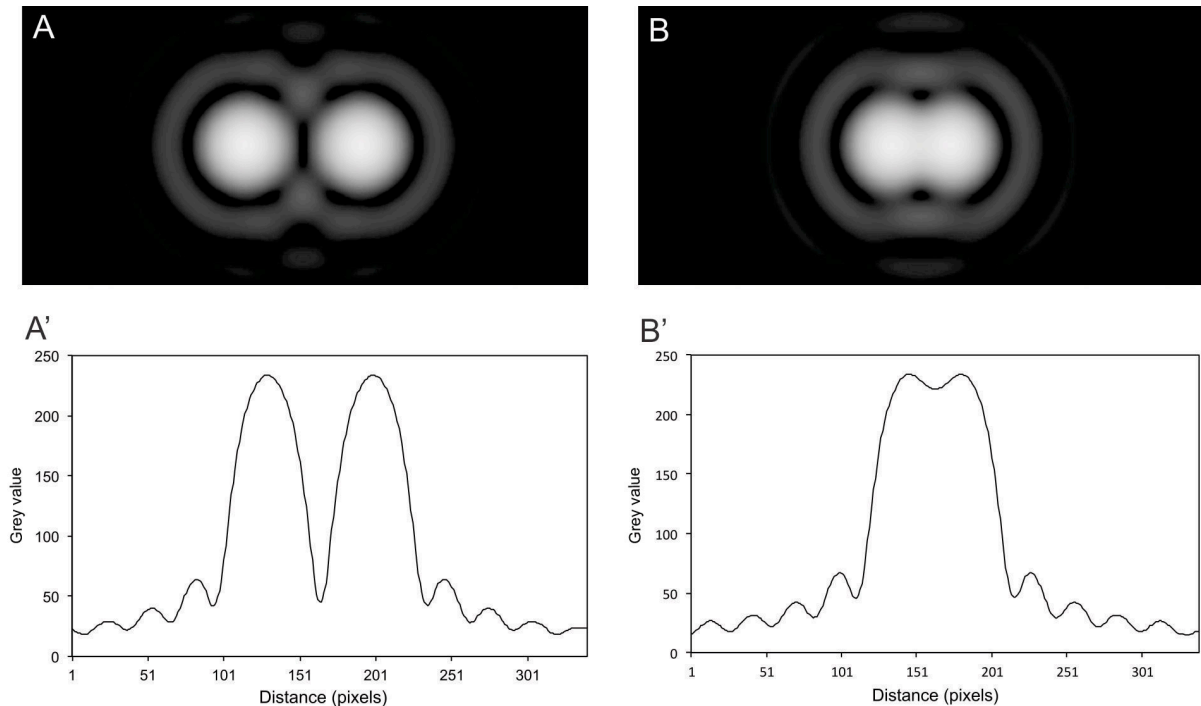
### Procedura

1. Descărcați și instalați software-ul ImageJ<sup>w1</sup>. Acesta este un program software sofisticat folosit de mulți cercetători din lume și este disponibil gratuit. El permite analiza cantitativă a multor proprietăți ale imaginilor, inclusiv determinarea nivelelor de gri asociate pixelilor individuali din imagine. Vom folosi această facilități în experimentul descris aici.
2. Descărcați o versiune de rezoluție înaltă a fișierului 'Airy disk spacing near Rayleigh criterion.png'<sup>w2</sup>.
3. Porniți aplicația ImageJ și deschideți fișierul 'Airy disk spacing near Rayleigh criterion.png'.
4. Punctați pe butonul 'Straight Line' din ImageJ și, folosind această unealtă, trasați o linie orizontală trecând prin centrul modelului Airy (aflat în partea de sus a imaginii), pornind de lângă muchia stângă a imaginii și mergând până aproape de marginea dreaptă a imaginii.

Material ajutător pentru:

Zupanc GKH (2016) Sharp eyes: how well can we really see? *Science in School* 37: 29-33. [www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision](http://www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision)

- Din meniul aplicației alegem opțiunea 'Analyze' și apoi comanda 'Plot Profile', și astfel obținem funcția de dispersie punctuală. Graficul generat automat reprezintă valorile nuanțelor de gri asociate pixelilor din imagine de-a lungul liniei trasate la pasul 4.
- Repetăm pașii 4 și 5 pentru figura din mijlocul imaginii descărcate.



*Figura 1: Modele Airy și funcția de dispersie punctuală. Modelele Airy sunt produse de lumina venind din două surse de lumină la trecerea printr-un orificiu circular. Pentru imaginea modelelor Airy mulțumim lui Spencer Bliven; pentru graficul funcției de dispersie punctuală mulțumim lui Günther KH Zupanc*

### Ce se întâmplă?

Rezultatele ar trebui să fie similare graficului din figura 1. Funcția de dispersie punctuală din figura 1A' arată că maximele centrale ale graficului, corespunzând celor două discuri Airy reprezentate în figura 1A, sunt suficient de îndepărtate pentru a fi considerate ca două puncte de lumină separate. Când aceste două puncte de lumină sunt aduse în apropiere (figura 1B), descreșterea dintre cele două maxime centrale ale funcției de dispersie punctuală devine mai puțin pronunțată, iar discurile Airy sunt mai dificil de distins.

În 1879, fizicianul englez Lord Rayleigh a stipulat, ca regulă generală, că două puncte pot fi rezoluate doar atunci când centrul unuia dintre discurile Airy (maximul) coincide cu primul minim aparținând celui de-al doilea model Airy. Această distanță a devenit cunoscută sub numele de 'criteriul Rayleigh' și este considerată în mod obișnuit ca fiind distanța minim-observabilă ( $m$ ) dintre două obiecte. Calculând primul minim al unui model Airy,  $m$  este definit de

Material ajutător pentru:

Zupanc GKH (2016) Sharp eyes: how well can we really see? *Science in School* 37: 29-33. [www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision](http://www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision)

$$m = 1.22\lambda f / D$$

unde  $\lambda$  = lungimea de undă a luminii;  $f$  = distanța focală a obiectivului;  $D$  = diametrul aperturii.

Când centrele celor două modele Airy se află la distanța  $m$  unul de celălalt, diferența de intensitate dintre maximele lor și scăderea de intensitate dintre ele este de aproximativ 26%. Deși ochiul uman poate distinge diferențe de intensitate chiar și mai mici, criteriul Rayleigh este util ca o estimare conservativă a distanței minime rezolvabile dintre două puncte de pe retina umană. Pentru calculele noastre, vom folosi distanța focală a ochiului ipotetic,  $f = 20,1$  mm, și presupunem că lungimea de undă  $\lambda$  a luminii incidente este de 600 nm (considerând lumina de culoare portocalie), iar diametrul pupilei,  $D$ , este de 3 mm. Folosind aceste valori și ecuația 3, putem calcula distanța minimă rezolvabilă (amintiți-vă că 1 nanometru (nm) are  $10^{-9}$  m; 1 micrometru ( $\mu\text{m}$ ) are  $10^{-6}$  m), și obținem pentru  $m$  aproximativ 5  $\mu\text{m}$ .

Aceasta înseamnă că – indiferent de densitatea celulelor fotoreceptoare din componența retinei – mărimea globului ocular și dimensiunea pupilei, laolaltă cu proprietățile luminii, impun ca distanța minimă rezolvabilă pe retină să fie de 5  $\mu\text{m}$ , ceea ce corespunde unei rezoluții unghiulare de 50 de secunde de arc.

## Referințe web

w1 – ImageJ poate fi descărcat de pe web-site-ul National Institutes of Health. Vedeți: <http://imagej.nih.gov/ij>

w2 – Fișierul 'Airy disk spacing near Rayleigh criterion.png' poate fi descărcat din colecția Wikimedia Commons a web-site-ului *Science in School*. Vedeți <https://commons.wikimedia.org> (sau <http://tinyurl.com/j47nr9k>) sau [www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision](http://www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision)

Material ajutător pentru:

Zupanc GKH (2016) Sharp eyes: how well can we really see? *Science in School* 37: 29-33. [www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision](http://www.scienceinschool.org/2016/issue37/vision)