

◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

A fény mint hullám. A fényinterferencia

A következő táblázatban összefoglaltuk a mechanikai hullámok, az elektromágneses hullámok és a fény terjedési tulajdonságait.

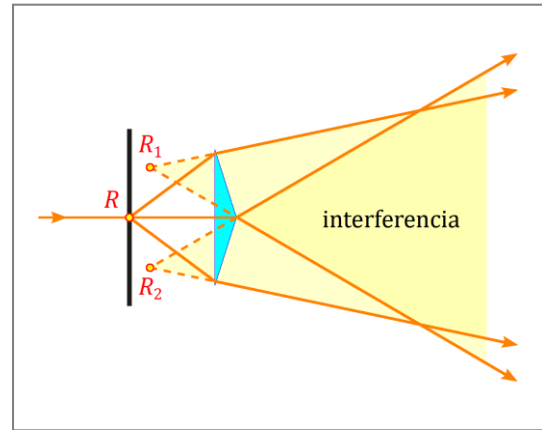
	Mechanikai hullám	Elektromágneses hullám	Fény
Terjedés homogén közegben	egyenesen	egyenesen	egyenesen
$c_{\text{vákuum}}$ (m/s)	---	299 792 458	299 792 458
Visszaverődés	$\alpha = \beta$	$\alpha = \beta$	$\alpha = \beta$
Törés	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$
Interferencia	van	van	?

Összehasonlítva megállapítható, hogy a fény a mechanikai és az elektromágneses hullámokhoz hasonló módon terjed. Különösen figyelemreméltó, hogy vákuumban a fény és az elektromágneses hullám ugyanakkora sebességgel halad. Egy sugárzás hullámjellegének legfontosabb bizonyítéka az interferencia. Ha a fénynél is sikerül kimutatni az interferenciát, akkor jogosan tekinthetjük a fényt hullámnak.

A mechanikai hullámoknál láttuk, hogy interferenciát legegyszerűbben úgy hozhatunk létre, hogy két hullámforrásból egyidejűleg bocsátunk ki hullámokat. Az egymással találkozó hullámok fázisuktól függően erősítik, illetve gyengítik egymást. Ha azonban két lámpával megvilágítunk egy papírlapot, akkor nem észlelünk interferenciát. Ennek az az oka, hogy a fénykibocsátás (mint azt későbbi fejezetekben látni fogjuk) atomi szintű folyamat. A fényforrások többségénél az atomok egymástól függetlenül, körülbelül $10^{-9} \dots 10^{-8}$ másodpercig bocsátanak ki fényt. Így a fény különálló, 0,3 ... 3 m hosszú hullámvonulatokból álló nyaláb, melyben az egyes hullámvonulatok között nincs semmiféle szinkron. Az ilyen fényt *inkohere*nek nevezzük. Az ernyő bármely kiválasztott pontjában az erősítés vagy gyengítés így legfeljebb csak 10^{-8} másodpercig tarthat, ezt azonban képtelenek vagyunk szemünkkel nyomon követni. Ha azonban egy

fényforrás fényét kettéválasztjuk, majd a két fénysugarat különböző utak megtétele után ismét egyesítjük, interferencia jöhet létre. A két fénysugárban ugyanis ilyenkor ugyanazokból az atomokból származó, egymással szinkronban levő hullámvonulatok haladnak. Az ilyen fényt *koherensnek* nevezzük.

Ha például egy kettős prizma mögé *egyszínű* fényt adó, fonalszerű fényforrást (például egy erősen megvilágított R rést) helyezünk el, akkor a prizma két fele ellentétes irányba töri meg a fényt. A néhány méterre elhelyezett ernyőre így két koherens fénynyaláb érkezik. Ezek látszólag az R_1 és R_2 látszólagos fényforrásokból indulnak ki, és interferenciájuk



eredményeképpen világos és sötét csíkok láthatók az ernyőn. A világos helyeken a két nyaláb sugarai erősítik, a sötét helyeken gyengítik egymást. *A kísérletben megfigyelhető interferencia azt igazolja, hogy a fény hullám.*

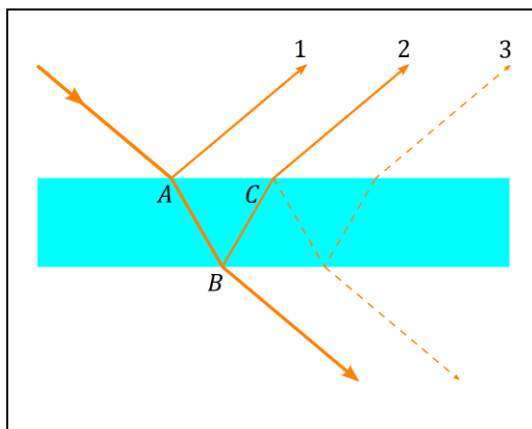
Különbféle színű fénnel elvégezve az előző kísérletet, azt tapasztaljuk, hogy a csíkok távolsága a fény színétől függ. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy *a fény hullámhossza függ a fény színétől.* A szín megváltoztatása tehát a hullámhossz megváltozását okozza, így az ernyőre eső fénysugarak fázisviszonyai megváltoznak. Emiatt máshova kerülnek az interferencia eredményeként kialakuló világos, illetve sötét csíkok. A csíkok távolsága, illetve a kísérleti elrendezésre jellemző távolságok lemérhetők. Ezekből és a prizma adataiból a hullámhossz kiszámítható. Ilyen és ehhez hasonló mérések alapján megállapítható, hogy *a látható spektrumban előforduló színek hullámhossza vákuumban 380 nm és 760 nm között van.* A színek hullámhossz szerinti sorrendje megegyezik a színekbeli sorrendjükkel: *legkisebb az ibolya hullámhossza, legnagyobb a vörösé.*

Ha a kísérletben fehér fényt használunk, akkor színes csíkok láthatók az ernyőn. Az interferencia következtében ugyanis a különféle színű (= hullámhosszúságú) fénysugarak más és más helyen hoznak létre erősítést. Így az ernyőn végül is a különféle színű csíkrendszerek additív keveréke jelenik meg.



Szappanhártyán, vízen úszó olajrétegen, fémtárgyak oxidrétegén gyakran színes foltok láthatók. Ez a jelenség is a fény interferenciájával magyarázható: Ha egy vékony, párhuzamos síklapokkal határolt, átlátszó lemezre egyszínű, párhuzamos sugarakból álló fénynyaláb esik, akkor a fénysugár az A pontban részben visszaverődik, részben a lemezben halad tovább az alsó lapig.

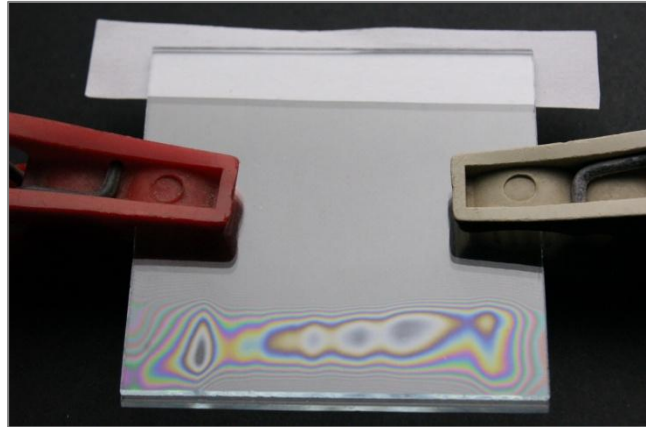
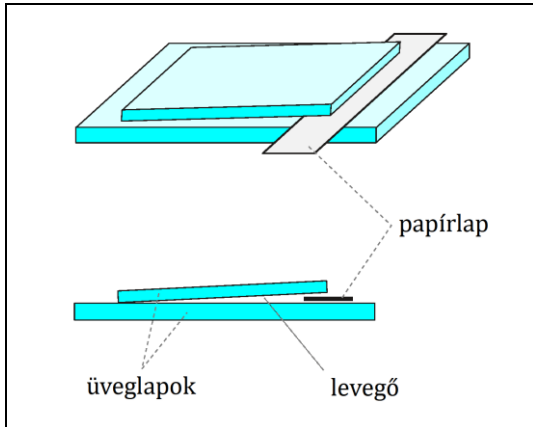
A fény a B pontban ismét két részre bomlik, egyik része kilép a lemezből, másik része pedig visszaverődik a felső lap felé. A C pontba jutó fény egy része szintén kilép a lemezből, másik része visszaverődik. A sorozatos visszaverődések eredményeként végül is a lemeztől visszavert fény az egymással



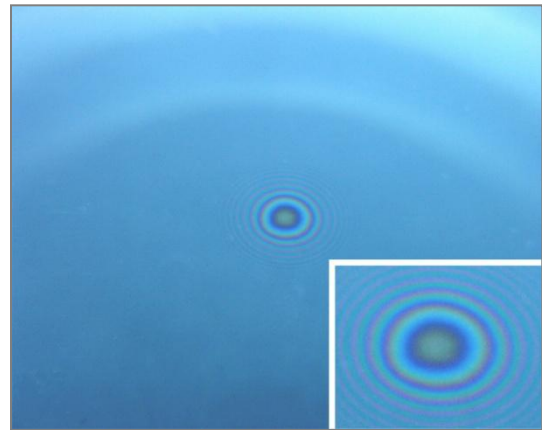
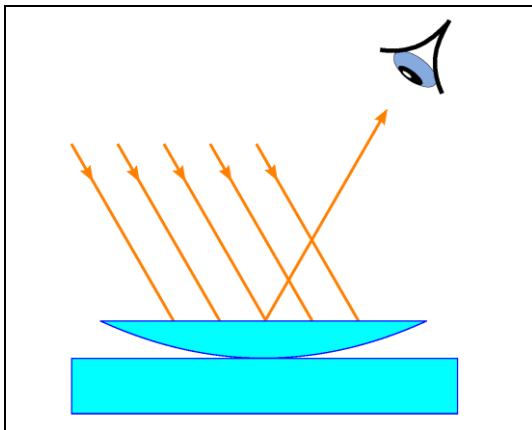
párhuzamos 1, 2, 3 ... sugarakból áll. Belátható, hogy az 1 és 2 fénysugarak erőssége gyakorlatilag ugyanakkora, a továbbiak fényereje azonban lényegesen kisebb, ezért elegendő e két sugár interferenciáját vizsgálni. Mivel a megfigyelő szemébe az 1 és 2 sugár más úton jut el, a sugarak közt fáziskülönbség alakul ki. A fáziskülönbség függ a lemez vastagságától, törésmutatójától, a fény hullámhosszától és a beesés szögétől.

Adott lemezt egyszínű fénnel megvilágítva a fáziskülönbség és ezzel együtt az interferencia eredménye a beesés szögétől függ. Ennek következtében a lemezen sötét és világos görbék alakulnak ki. Ha fehér fénnel világítjuk meg a lemezt, akkor a különféle színű, azaz különböző hullámhosszúságú fénysugarak más és más helyen hoznak létre erősítést. Ezek összegződnek, így a lemezen ezek keverékeként színes görbesereg látható.

Ha a lemezt alkotó felületek nem síklapok vagy a síklapok nem párhuzamosak, akkor az interferencia eredményeként megjelenő csíkrendszert a lemez vastagságának változása módosítja.



Ha például két üveglemez közé egyik oldalon vékony papírlapot helyezünk, akkor a lemezek találkozási élével párhuzamos csíkrendszer látható. A jelenség az üveglapok közötti, ék alakú légréteg miatt alakul ki. Hasonló módon jönnek létre koncentrikus, gyűrű alakú interferenciacsíkok a sík üveglap és az arra helyezett domború-lencse felülete között. Ezt a koncentrikus körökből álló csíkrendszert *Newton-gyűrűk*nek nevezzük.



Kiegészítések

1. A fény hullámterjedésének gondolatát Hans Christiaan *Huygens* (1629–1695) holland fizikus, csillagász vetette fel *Traité de la lumière* (Értekezés a fényről) című 1690-ben megjelent művében: „...ha mi egy fénylő tárgyat látunk, ez nem lehet egy anyagáramlás következménye, amely anyag a tárgyról felénk jön olyan módon, mint ahogy a golyó vagy a nyíl halad a levegőben; ... ami ennek megértéséhez vezet, az az ismeret, amely a hang terjedéséről birtokunkban van.”



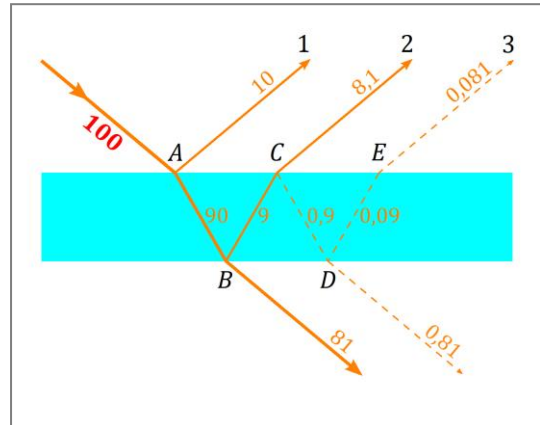
2. A Newton-gyűrűket Robert *Hooke* (1635–1703) angol fizikus és kémikus vizsgálta elsőként 1665-ben. Isaac *Newton* (1642–1727) csak 1676-ban tanulmányozta a később róla elnevezett jelenséget. Ezzel kapcsolatos eredményeit is az *Optika* című könyvében jelentette meg 1704-ben. (A Newton-gyűrűk rajza az *Optika* első kiadásában itt érhető el: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3362k/f177.item>. A rajzon megfigyelhető, hogy a gyűrűrendszer kifelé egyre sűrűbb. Newton a rajzon megadta a visszavert, illetve az átmenő fényben látható gyűrűk színét is.)

3. A fényinterferencia elméletét Thomas *Young* (1773–1829) angol fizikus és orvos dolgozta ki. Tőle származik az *interferencia* elnevezés is, amely az angol *interference* (megzavarás, közbeavatkozás) szóból ered. Newton színes gyűrűkre vonatkozó mérési adatait felhasználva Young végezte az *első fényhullámhossz-meghatározást* 1802-ben. Ő adta meg a *színes látás* elméletét is. Young egyiptológusként 1814-ben felismert néhány királynevet egy óegyiptomi szövegben, és ez a felismerés vezetett el 1822-ben a *hieroglifák* megfejtéséhez (Jean-François *Champollion*, 1790–1832).



4. A párhuzamos síklapokkal határolt lemezt *plánparallel lemeznek* nevezzük. (A szó latin eredetű, a *plán*- jelentése sík, a *parallel* jelentése párhuzamos.)

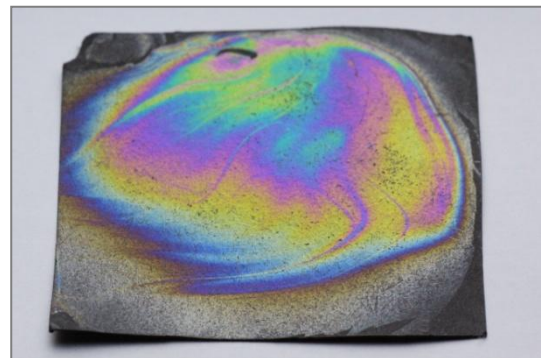
5. Az átlátszó plánparallel lemezről visszavert fénysugarak erőssége a következő módon becsülhető meg: Tételezzük fel, hogy a visszaverődéseknél a fény 10 százaléka verődik vissza, a többi pedig átlép az új közegbe. Ekkor a rajz szerinti A pontból visszaverődő fénysugár erőssége a beeső fény erősségének 10%-a lesz (1 jelű sugár),



90% pedig belép a lemezbe. A rajzon berajzolt minden további fénysugár mellett feltüntettük, hogy mekkora az erősségük az A pontba beeső fényhez képest. (A jobb olvashatóság érdekében a százalékjeleket elhagytuk.) Megállapítható, hogy a visszavert fénysugarak közül az 1 és 2 sugár közel azonos erősségű, a 3 (és a többi) ennél lényegesen gyengébb. Az is megfigyelhető, hogy a B pontnál kilépő sugár sokkal erősebb, mint a többi, ezért átmenő fényben az interferencia nehezen figyelhető meg.

Kísérletek

1. Sima vízfelületre cseppentsünk egy csepp színtelen körömlakkot! A lakk oldószere gyorsan elpárolog, és így a vízfelületen egy vékony lakkréteg alakul ki. Figyeljük meg a lakkrétegen kialakuló fényinterferenciát! A lakkréteg az előzőleg a vízbe merített (fekete) kartonlappal óvatosan kiemelhető, és a lapon megszáritva megőrizhető.



2. A csillám átlátszó ásvány, amely könnyen hasad vékony lapokra. Figyeljük meg a lapok közé bejutó légrétegen létrejövő interferenciát! Szükség esetén használjunk nagyítót! (Csillám hiányában használjuk a jobb oldali fénykép teljes méretű változatát!)



Példa

A sárga fény hullámhossza vákuumban 590 nm. Mekkora a frekvenciája? Mekkora a hullámhossza olyan üvegben, amelynek abszolút törésmutatója 1,5?

$$\lambda = 590 \text{ nm} = 5,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$n = 1,5$$

$$f = ?$$

$$\lambda_{\text{ü}} = ?$$

Megoldás

A terjedési sebességre vonatkozó $c = \lambda \cdot f$ összefüggésből a frekvencia kiszámítható:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \approx 5,08 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

A törésmutató és a terjedési sebességek közti összefüggés szerint:

$$n = \frac{c}{c_{\text{ü}}} = \frac{\lambda \cdot f}{\lambda_{\text{ü}} \cdot f} = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ü}}},$$

azaz



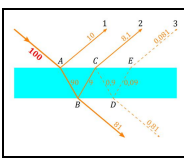
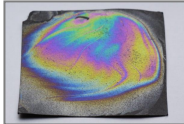

$$n = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ü}}}.$$

Ebből a hullámhossz üvegben:

$$\lambda_{\text{ü}} = \frac{\lambda}{n} = \frac{5,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{1,5} \approx 3,93 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

Képek jegyzéke

	<p>Fényinterferencia létrehozása kettős prizával © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0653.svg</p>
	<p>Fényinterferencia szappanbuborékon © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1061.jpg <i>Videó:</i> © https://www.youtube.com/watch?v=1_BTvnOadiQ</p>
	<p>Fényinterferencia olajfolton © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0319.jpg</p>
	<p>Rajz a plánparallel lemezen kialakuló fényinterferencia magyarázatához © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0654.svg</p>
	<p>Kísérlet vázlatrajza (Fényinterferencia két üveglap közti levegőrétegen) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0655.svg</p>
	<p>Fényinterferencia két üveglap közti levegőrétegen © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1060.jpg <i>További fotók (vörös, zöld és kék fényben):</i> © fizf1057.jpg, fizf1058.jpg és fizf1059.jpg</p>
	<p>A Newton-gyűrűk kialakulása © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0656.svg</p>
	<p>Newton-gyűrűk lencsék közti légrétegen © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0318.jpg</p>

	<p>Huygens arcképe W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Christiaan_Huygens-painting.jpeg</p>
	<p>Young arcképe W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thomas_Young_by_Briggs.jpg</p>
	<p>A fénysugarak erőssége a beeső sugár erősségéhez viszonyítva © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0657.svg</p>
	<p>Fényinterferencia körömlakk rétegen © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0889.jpg További fotók (vörös, zöld és kék fényben): © fizf0886.jpg, fizf0887.jpg és fizf0888.jpg</p>
	<p>Interferencia csillámrétegek közti levegőben W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Csillamlap02.jpg</p>

Jelmagyarázat:

- © **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.