Orvosi fizika alapjai

1. A második féléves „**Orvosi biofizika**” című kötelező tárggyal együtt egységet képez.
2. Az első félévben azokat a legfontosabb fizikai alapokat **foglaljuk össze, tekintjük át,** amelyekre e második féléves tárgy ismeretanyaga épül.
3. **Az elmaradt középiskolai tanulmányokat itt nem tudjuk pótolni!**

***

Miért kell mindez egy leendő orvos számára?

Okok:

1. Az emberi szervezet felépítésének és működésének;
2. az orvosi diagnosztikában és terápiában használt módszereknek, eszközöknek, berendezéseknek természettudományos alapjai vannak.

φυσιζ = természet
fizika = „teméshzettudomány”

Érdekesség: angolul physics
de „physic” = „art of healing, medical science”,
azaz „gyógyító művészet, orvostudomány”

3. Orvosi gondolkodás
logikus, elemző, rendszerező gondolkodás, fontos jellemzője az örökös kételkedés **(semmi sincsen egészen úgy)**

Célok:

I. Ismeretek, tudás szerzése
II. Problémamegoldás, módszertan
III. Szemléletmód, hozzáállás

***

Elrettentő példa; vigyázat sok a sarlatán!

***

Ajánlott könyvek:

Orvosi biofizika tankönyv
Medicina Kiadó

Középiskolai fizika tankönyvek
Nemzeti Tankönyvkiadó
Minerva Kiadó

Idegen szavak szótára, Orvosi szótár
(minden tárgyhoz ajánlott)

***

Matematikai alapok

Nem kell túl sok, de…

Pl. $\log(ab) = ?$, $\log a^b = ?$

Egyszerűbb függvények és grafikus ábrázolásuk.

Pl. $f(x) = ax + b$ vagy $f(x) = a \sin(x - b)$

Számológép használat, számolás 10 hatványaival.

EE vagy EXP vagy $\times 10^x$ és nem $\mathbf{y^x}$

Mekkora az *r* sugarú

kör kerülete, területe, ill. a gömb felszíne és térfogata?

***

Fizikai mennyiségek, mértékegységek, prefixumok, nagyságrendek

Pontos fogalmak, **definíciók** szükségesek.

Pl. a „sugárzás" nem fizikai mennyiség így csökkenéséről vagy növekedéséről sem beszélhetünk.

A definíció néha csak egyszerű képlet, de lehet egy mérési utasítás feltételekkel (lásd a 2. szemeszterben pl. dozimetria).

Jelölések:

p lehet impulzus, de nyomás vagy permeabilitási együttható is.

Mértékegység nélkül egy számadat semmit sem mond.

Ha ismerjük a mértékegységeket, még segítségül is szolgálhatnak.

Pl. Milyen egyszerű összefüggés lehet a fény terjedési sebessége (c [m/s]), a hullámhossza (λ [m]) és a frekvenciája (f [1/s]) között?

$\cancel{c = \lambda/f}$, vagy $\cancel{c = f/\lambda}$, esetleg $\boldsymbol{c = \lambda f}$?

Prefixumok: (**tudni kell**)

10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	piko	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	mikro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^{0}		
10^{1}	deka	da
10^{2}	hekto	h
10^{3}	kilo	k
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

Nagyságrendek:

Pl. aJ ~ atomi energia
fm ~ atommag térbeli kiterjedése
pm ~ röntgensugárzás hullámhossza
GW ~ paksi erőmű teljesítménye

Megjegyzés: görög betűk és konvencionális jelentésük ismerete,

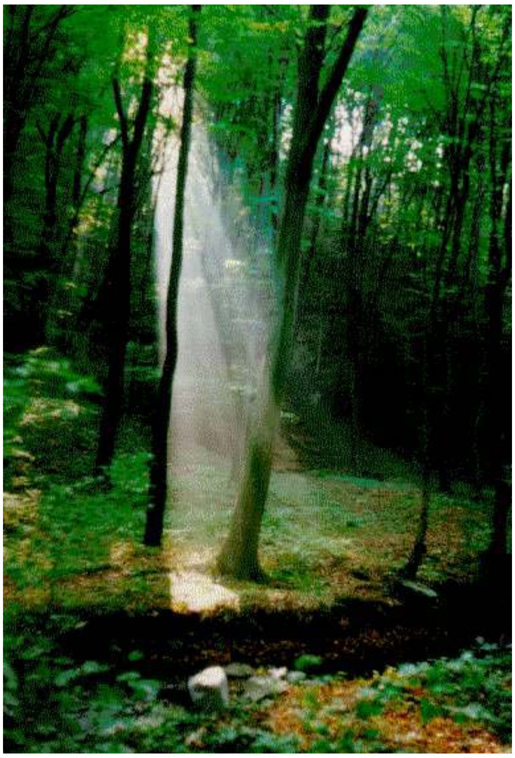
pl. $\Delta x = x_2 - x_1$

(Az időben vagy térben távolabbiból vonjuk le a közelebbit.)

***

Geometriai és fizikai optika
(fénytan)

Mi a fény? Látható elektromágneses sugárzás.



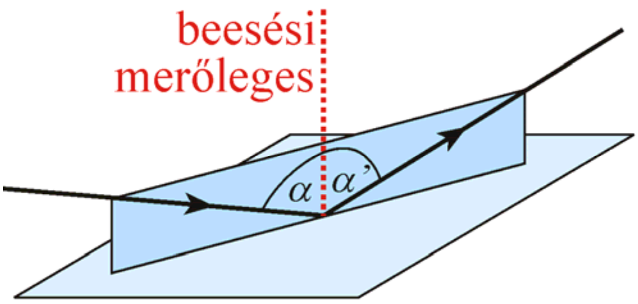
Geometriai optika (modell)

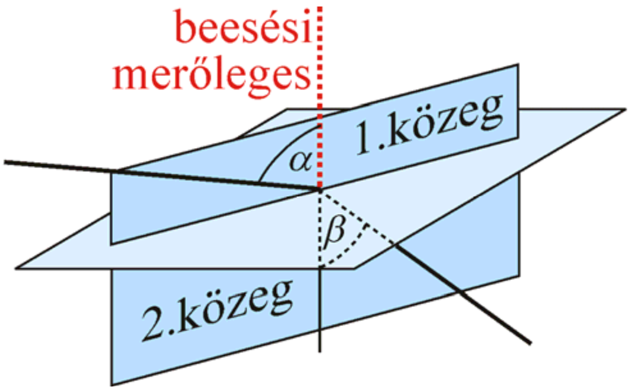
Fénysugár: igen vékony párhuzamos fénynyaláb

Ezt a modellt használva az optikai jelenségek széles körének magyarázata egyszerű **geometriai problémák** megoldásaként adható meg.

1. egyenes vonalú terjedés törvénye
2. visszaverődési törvény
3. törési törvény

2a, 3a) A beeső fénysugár, a beesési merőleges és a visszavert, illetve a megtört fénysugár egy síkban van.





2b) $\alpha = \alpha'$

3b) $$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

($c_1 > c_2$ ezért $n_1 < n_2$)

Minden szöget a beesési merőlegestől mérünk!

***

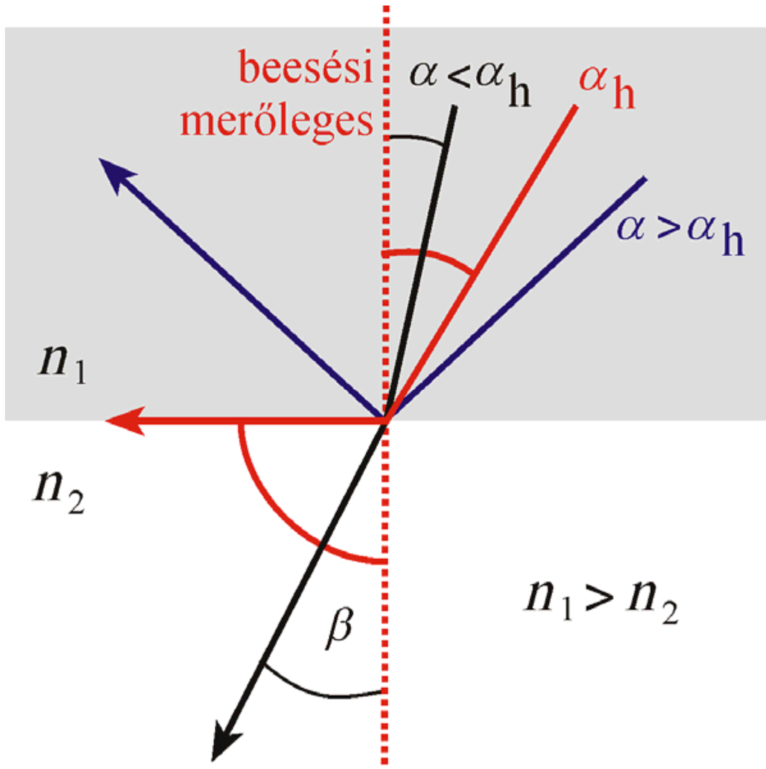
Mindez egyetlen elvből következik!

Fermat-elv

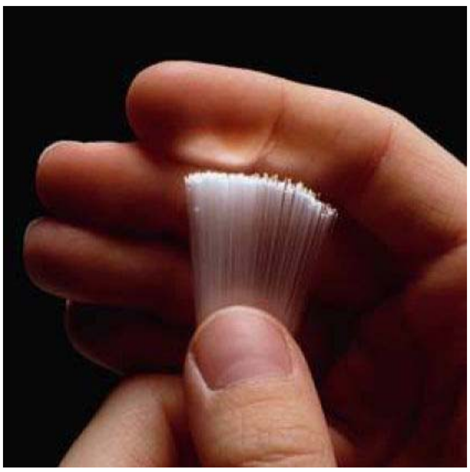
A **„legrövidebb idő elve”**: két pont között a geometriailag lehetséges utak közül a fénysugár a valóságban azt a pályát követi, amelynek megtételéhez a legrövidebb időre van szüksége.

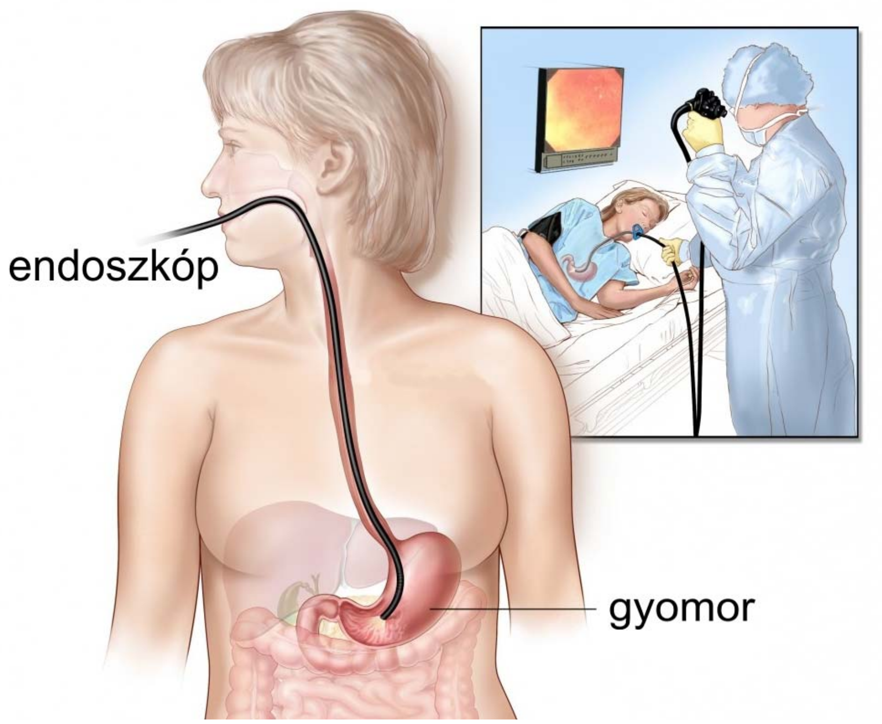
Teljes visszaverődés
(Ha $n_1 > n_2$)

$$\frac{\sin \alpha_h}{\sin \frac{\pi}{2}} = \sin \alpha_h = \frac{n_2}{n_1}$$



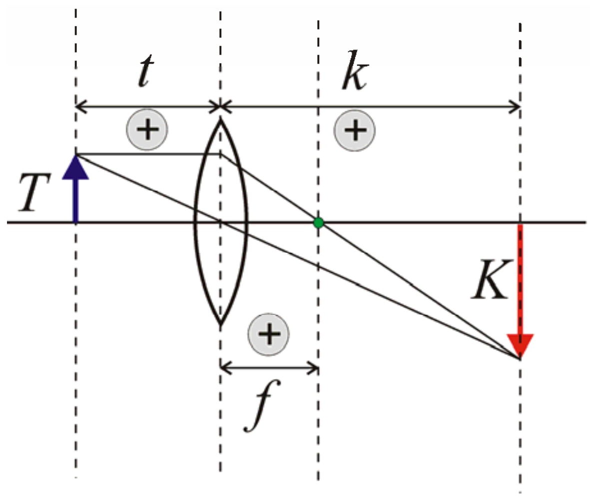
Alkalmazások: Optikai „szál”, optikai rost, (endoszkópia)

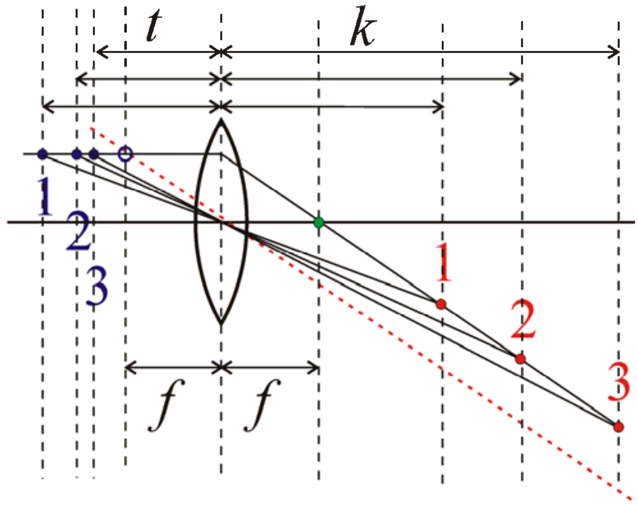




***

Képalkotás lencsékkel (vékony lencse közelítés)





az optikai tengelyhez közeli ún. paraxiális sugarakra

Lencsetörvény:

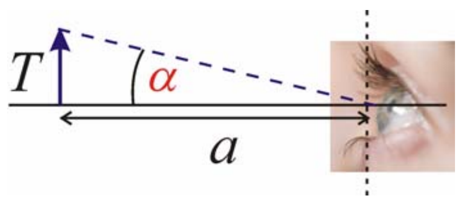
$$\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)$$

r_1, r_2
a lencse görbületi sugarai,

n pedig a törésmutatója

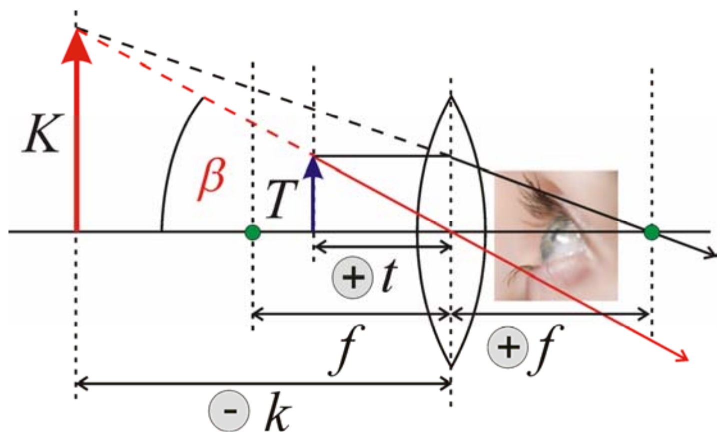
Egyszerű nagyító
Két esetet kell összevetnünk: a T tárgyat

1. lencse nélkül a tisztánlátás távolságából ($a \approx 25$ cm) nézve α szög alatt látjuk



2. lencsével t távolságból nézve β szög alatt látjuk

K virtuális kép



Szögnagyítás (definíció):

$$N = \frac{tg\beta}{tg\alpha} \qquad \text{és felhasználjuk, hogy} \qquad \frac{1}{t} = \frac{1}{f} - \frac{1}{k}$$

Esetünkben:

$$N = \frac{tg\beta}{tg\alpha} = \frac{\frac{K}{k}}{\frac{T}{a}} = \frac{\frac{T}{t}}{\frac{T}{a}} = \frac{a}{t} = a\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right).$$

Két praktikus választás lehetséges:

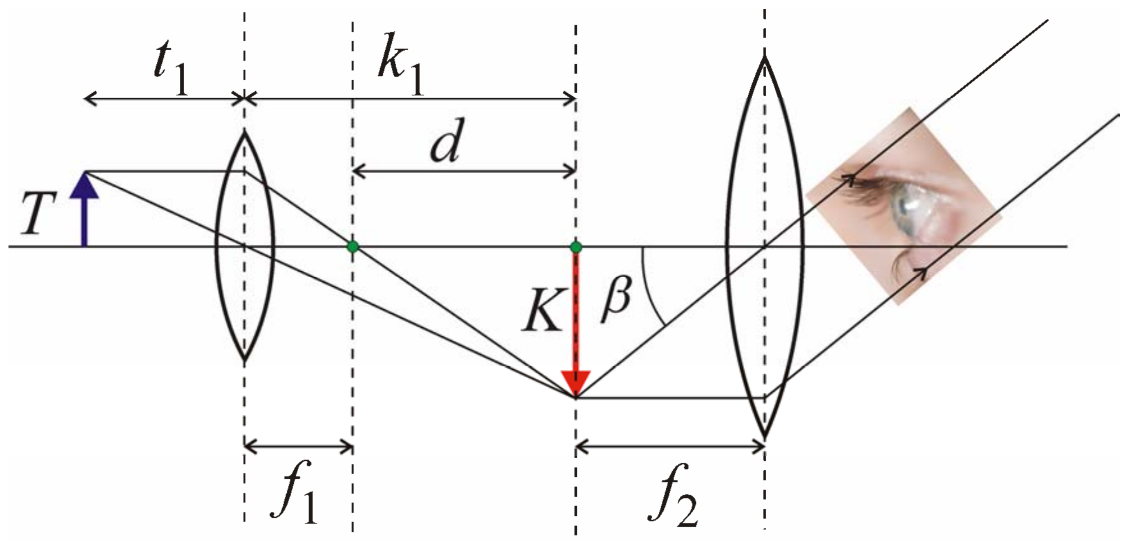
I. ha $k = -a$ akkor $N = \frac{a}{f} + 1$,

II. ha $k = -\infty$ akkor $N = \frac{a}{f}$

Az I. esetben akkomodált,
a II.-ban nem akkomodált – végtelenbe tekintő – szemmel nézünk,
ilyenkor $t = f$.

***

Lencserendszerek (1) mikroszkóp



Nem akkomodált szemmel nézünk.

A mikroszkóp szögnagyítása:

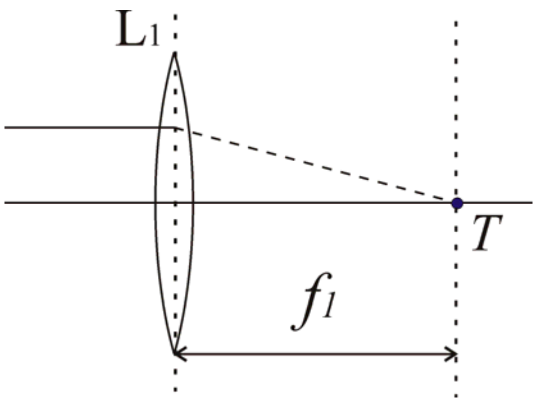
$$N=\frac{tg\beta}{tg\alpha}=\frac{\dfrac{K}{f_2}}{\dfrac{T}{a}}=\frac{K}{f_2}\frac{a}{T}=\frac{K}{T}\frac{a}{f_2}=\frac{k_1}{t_1}\frac{a}{f_2};$$

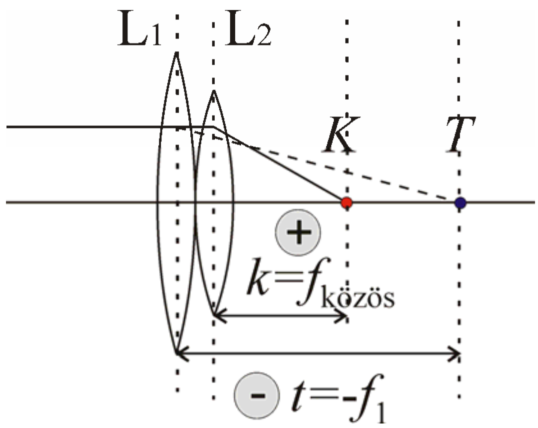
$$\frac{1}{t_1}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{k_1}=\frac{k_1-f_1}{f_1k_1}=\frac{d}{f_1k_1}$$

$$N=\frac{d}{f_1k_1}\frac{k_1a}{f_2}=\frac{da}{f_1f_2}$$

Lencserendszerek (2) **törőerősség**

Mekkora a közös fókusztávolsága két szorosan egymás mellé helyezett lencsének $\{L_1(f_1), L_2\,(f_2)\}$?





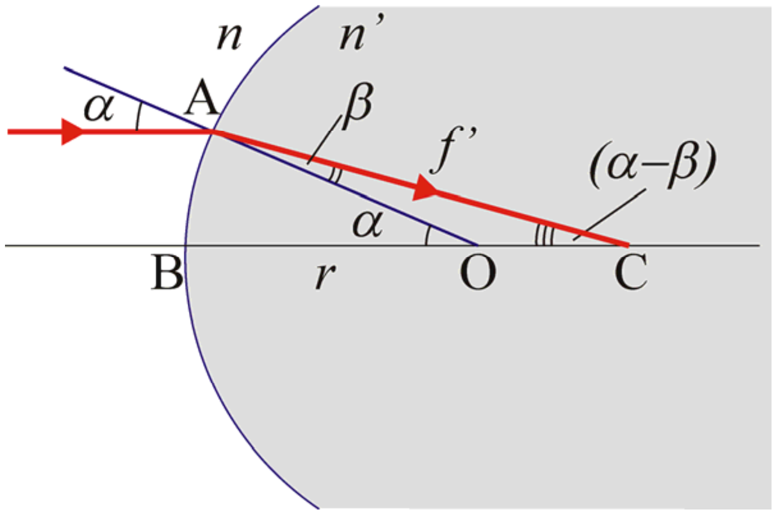
T-re, mint virtuális tárgyra alkalmazzuk a lencsetörvényt

$$-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_{\text{közös}}}=\frac{1}{f_2} \qquad \frac{1}{f_{\text{közös}}}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}=D_{\text{közös}}=D_1+D_2$$

A törőerősségek összeadódnak [1/m], dioptria, [dpt].
Alkalmazások: szemüvegek, kontakt lencsék.

***

Egyszerű görbült felület leképezése (r sugarú gömb):



kis szögekre:

1. $$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{n}{n'} \approx \frac{\beta}{\alpha}$$

az AB ívre:

2. $$f'(\alpha - \beta) \approx r\,\alpha$$

$$\frac{\alpha - \beta}{\alpha} = \frac{r}{f'} \qquad 1 - \frac{\beta}{\alpha} = \frac{r}{f'}$$

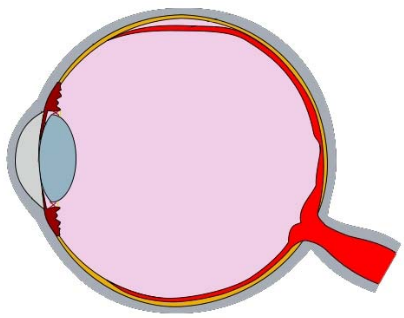
Behelyettesítve az 1. összefüggés szerint:

$$1 - \frac{n}{n'} = \frac{r}{f'}, \qquad \frac{n' - n}{n'} = \frac{r}{f'}$$

Ebben az esetben a törőerősség:

$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{r}$$

Alkalmazás: az emberi szemre
Pl. a szaruhártya törőerőssége



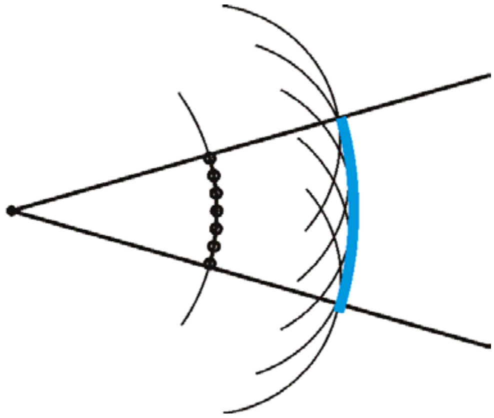
közeg	***r*** [mm]	***n***	***n'-n***	***D*** [dpt]
levegő		1		
			0,37	48
szaruhártya	7,7	1,37		

***

Van, amit nem tudunk így megmagyarázni:

Fizikai optika vagy hullámoptika
(másik modell)

Alapja a **Huygens–Fresnel-elv**



A Huygens-elv szerint egy hullámfelület minden egyes pontjából elemi hullámok indulnak ki, az új hullámfelület ezen elemi hullámok közös burkolófelülete.

Az egyenes vonalú fényterjedés, a fényvisszaverődés és a fénytörés törvényei ennek alapján is leírhatók.

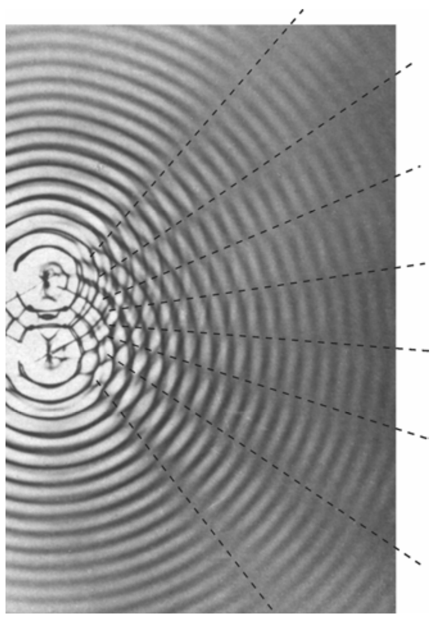
Fresnel ezt azzal egészítette ki, hogy az új burkolófelület létrejöttekor érvényesül a **szuperpozíció** elve is, ami nem más, mint annak a tapasztalati ténynek a kvantitatív megfogalmazása, hogy két hullám összetalálkozásakor zavartalanul keresztülhaladnak egymáson. Interferálnak.

Hullámok (már hallottunk róluk; dinamika, „ismétlés”)

Pl. „vízhullám”: direkt módon megfigyelhető.
Mert elég lassan változik (kis f) és elég nagy méretű (nagy λ).

A „fényhullám” nem ilyen.

Bizonyos feltételek mellet mintázatok jöhetnek létre, amelyek időben nem, vagy csak lassan változnak, méretük pedig lényegesen nagyobb lehet, mint λ.



***

Interferencia (két vagy több hullám találkozása egymással)

a hullámokkal kapcsolatos legfontosabb jelenség

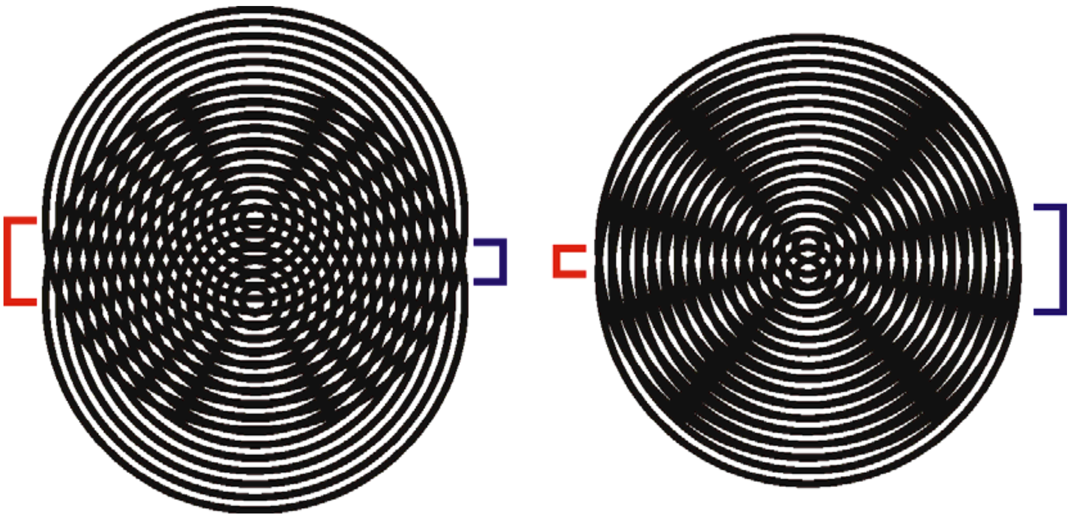
Inkoherens és koherens hullámok

A koherens hullámok térben és időben szabályozottan keltődnek, valamilyen módon szinkronizáltak.

Fényinterferencia

Csak az esetlegesen létrejövő mintázatok figyelhetők meg.
Pontszerű források esetén a megfigyelhetőség feltételei:

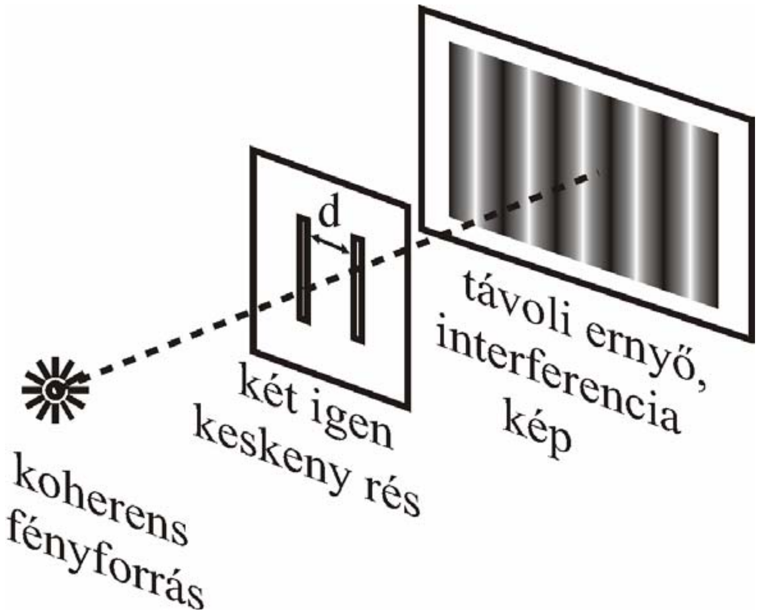
1. koherens hullámok (pl. állandó fáziskülönbség, $\Delta\varphi$ = áll.)
2. a források távolsága összemérhető λ-val.



Kisebb forrástávolság (piros jel),
nagyobb méretű mintázat (kék jel).

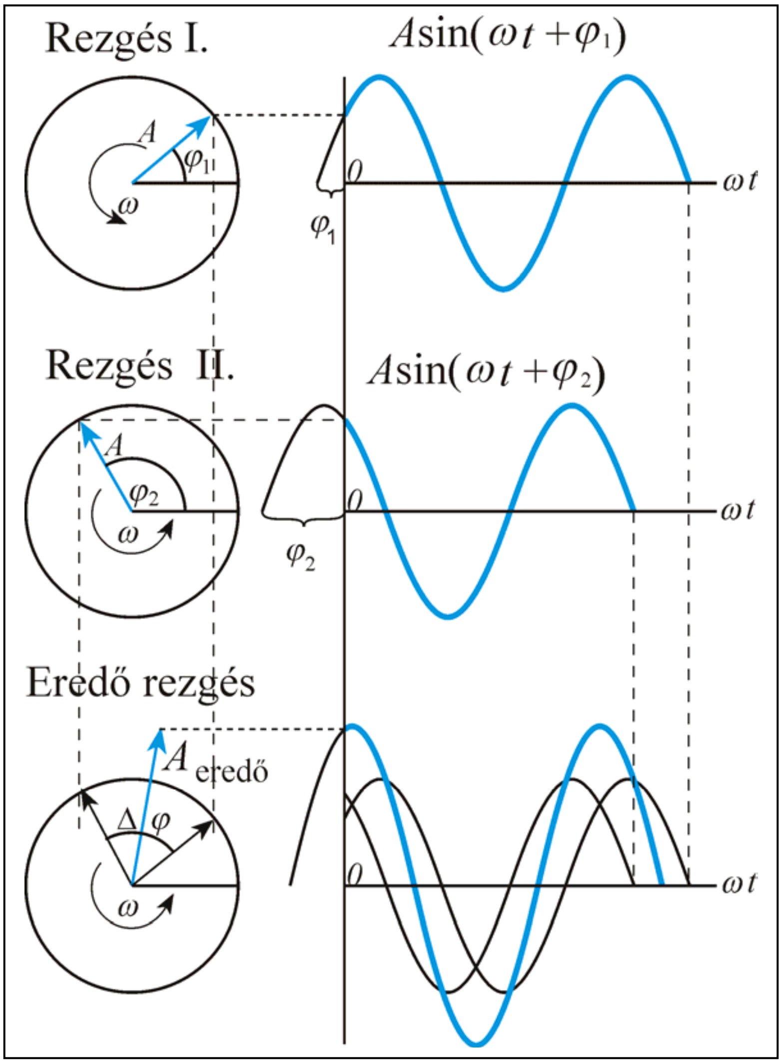
Tipikus fényinterferencia kísérlet és mintázat:

„Fényelhajlás" **két résen**
(Young-féle kísérlet)
(diffrakció)



Az erősítések és gyengítések helyeit a fáziskülönbség ($\Delta\varphi$) határozza meg.

Adott helyen a rezgési állapotokat forgó vektorokkal szemléltetjük:

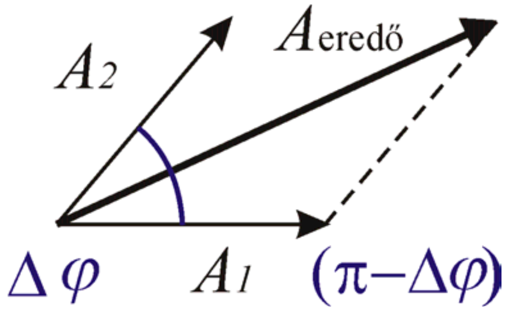


Az eredő rezgés amplitúdóját ($A_{eredő}$) a komponensek (A) vektori összege adja meg.

Szemünk nem az amplitúdókat, hanem a négyzetükkel arányos fényteljesítményeket (P) „érzékeli”.

Mivel $A_{eredő}^{2} \sim P_{eredő}$, és $A_{eredő} = A_1 + A_2$ ezért $\boldsymbol{P_{eredő} \neq P_1 + P_2}$.

Két vektor (A_1, A_2) eredője ($A_{eredő}$), illetve annak négyzete, ha a köztük lévő szög $\Delta\varphi$:



$P \sim A^2{}_{eredő} = A^2{}_1 + A^2{}_2 - 2A_1\, A_2\cos(\pi\text{-}\Delta\varphi\,)$ (koszinusz tétel)

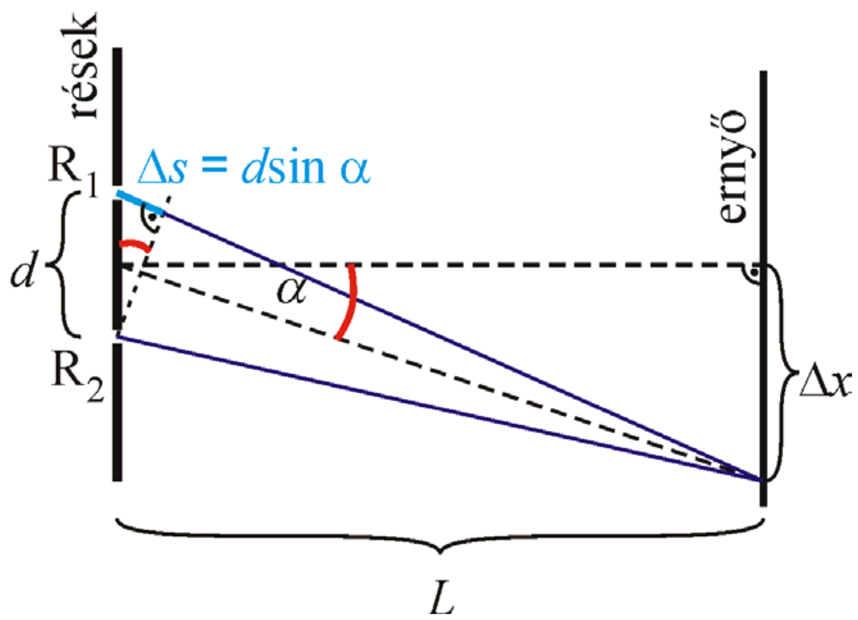
$P \sim A^2{}_{eredő} = A^2{}_1 + A^2{}_2 + 2A_1\, A_2\cos\Delta\varphi$

Ha $A_1 = A_2 = A$, akkor $A^2{}_{eredő} = 2A^2\,(1 + \cos\Delta\varphi)$

A fáziskülönbséget ($\Delta\varphi$) az útkülönbség (Δs) és a hullámhossz (λ) viszonya szabja meg.

Ha $L >> d$,

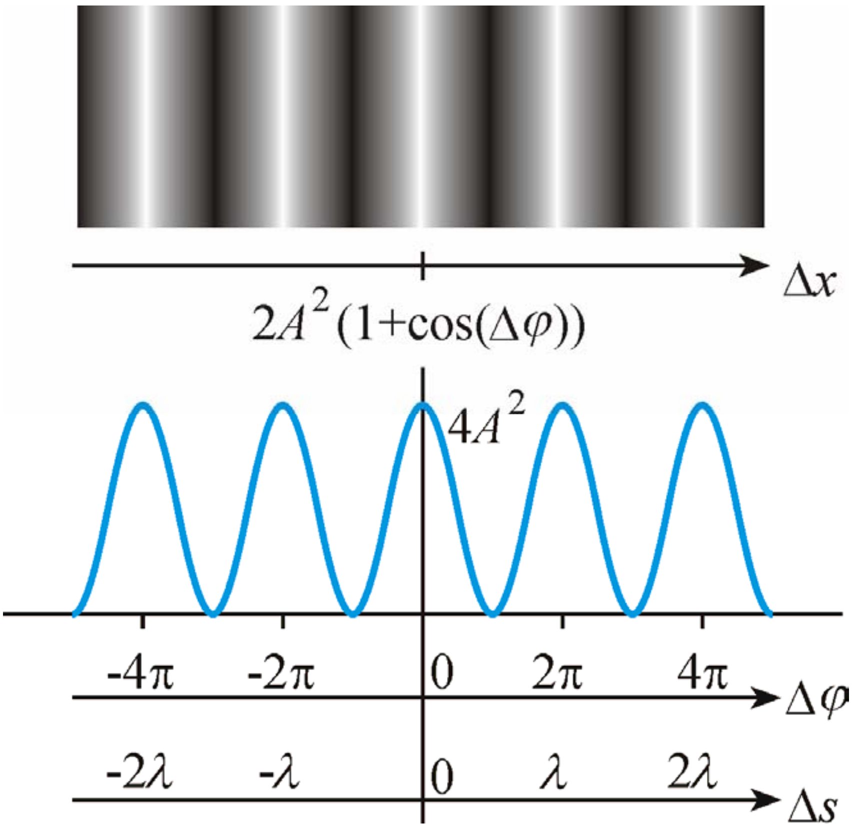
akkor az útkülönbség
$\Delta s = d\sin\alpha$.



A fáziskülönbség pedig:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta s = 2\pi\frac{d\sin\alpha}{\lambda} \approx 2\pi\frac{d\Delta x}{\lambda L}$$

Szemléltetés:



Sok egyforma rés, vagyis optikai rács esetén nagyon éles maximumok figyelhetők meg a $\Delta\varphi = 2\mathrm{k}\pi$ vagy $\Delta s = \mathrm{k}\lambda$; k = 0, 1, 2,… feltételnek megfelelő helyeken.

$$2\mathrm{k}\pi = \Delta\varphi \approx 2\pi\frac{d\Delta x}{\lambda L}$$

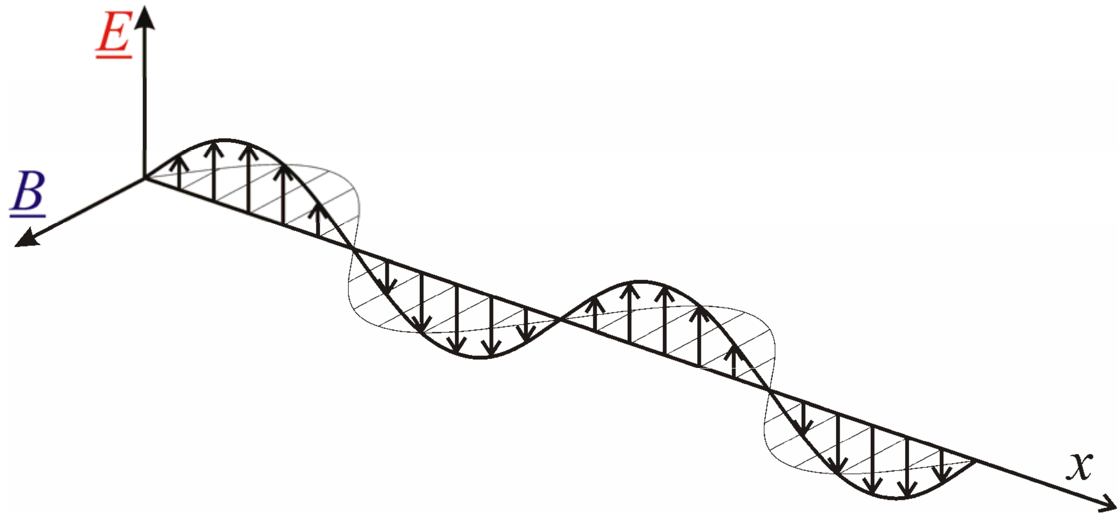
L és Δx makroszkopikusan mérhető, így ha λ ismert, akkor a mikroszkopikus d meghatározható, tehát általánosságban:

a makroszkopikus elhajlási képből mikroszkopikus adatokat nyerhetünk.

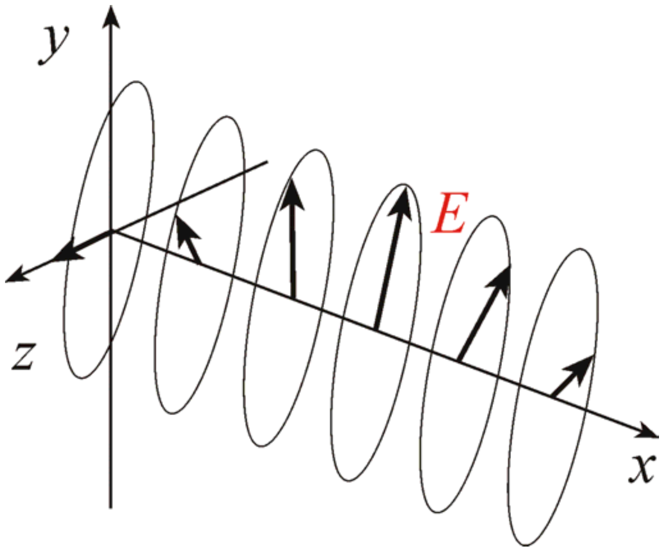
Alkalmazások: a mikroszkópok feloldóképességének meghatározásánál,
de ez az alapja minden diffrakciós módszernek is
(röntgen diffrakció; fehérje szerkezet vizsgálat)

A fény elektromágneses hullám transzverzális

ezért polarizálható **lineárisan** polarizált fény vagy **síkban** polarizált fény



De van **elliptikusan** polarizált fény is.



Optikai anizotropia

Pl. „anizotrop anyagban” a megfelelően módon lineárisan polarizált fény terjedési sebessége függ a terjedés irányától. Ennek oka az anyag struktúrájával kapcsolatos.

Következmények, alkalmazások: kettős törés, polarizációs mikroszkóp.