

A fény hullám természete a fizikai (hullám) optika

Összeállította:

CSISZÁR IMRE

SZTE, Ságvári E. Gyakorló Gimnázium
SZEGED, 2006. szeptember

Optika

Geometriai optika

A jelenségeket
egyenes vonalak
ún. *fénysugarak*
segítségével
írjuk le.

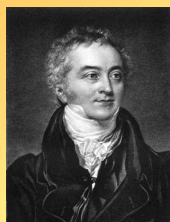
Fizikai optika

A jelenségeket,
mint *elektromág-*
neses hullámje-
lenségek írjuk le.

Fény-anyag kölcsönhatás

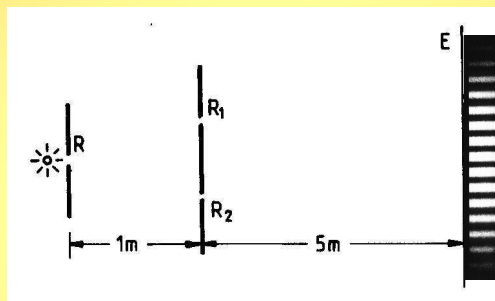
A jelenségek
értelmezésénél a
fényt *részecske*
modellel (foton)
írjuk le.

A Young-féle interferencia kísérlet(1802)

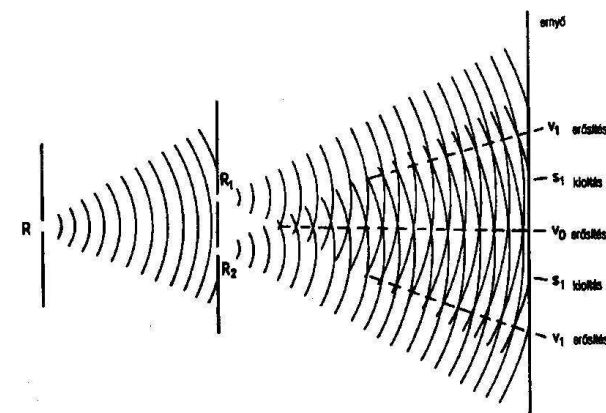


Thomas Young
(1773-1829)

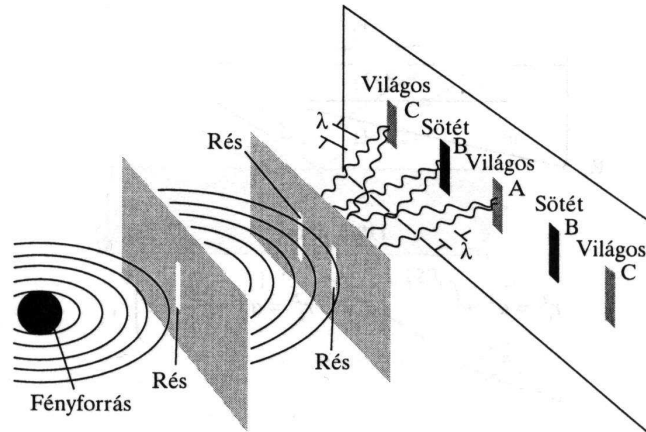
a rések mérete kb. 0,1mm
a rések távolsága kb. 1mm



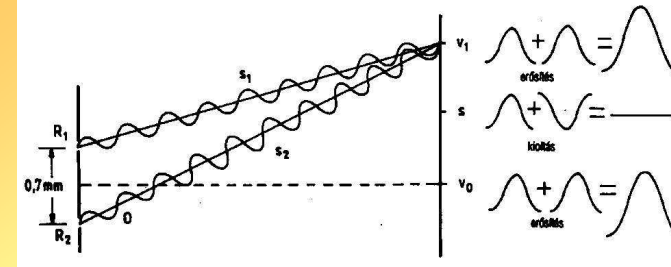
A Young-féle interferencia kísérlet(1802)



A Young-féle interferencia kísérlet(1802)



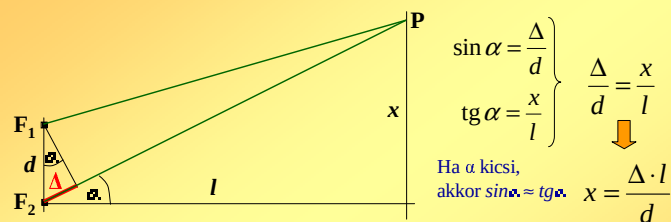
A Young-féle interferencia kísérlet(1802)



Erősítés feltétele: $\Delta = |s_1 - s_2| = k \cdot \lambda$ ahol $k \in \mathbb{N}$

Kioltás feltétele: $\Delta = |s_1 - s_2| = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ ahol $k \in \mathbb{N}$

A Young-féle interferencia kísérlet(1802)



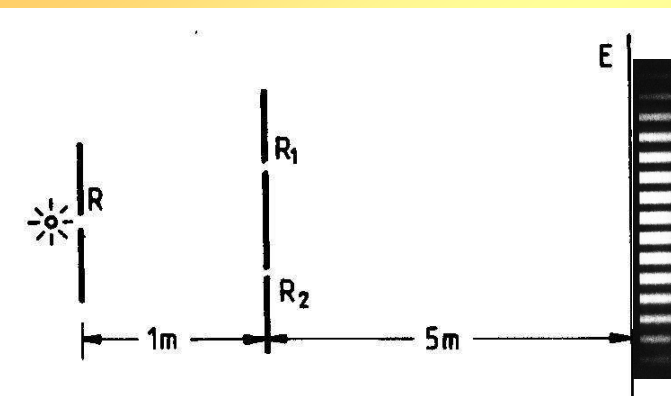
Kioltási helyek feltétele:

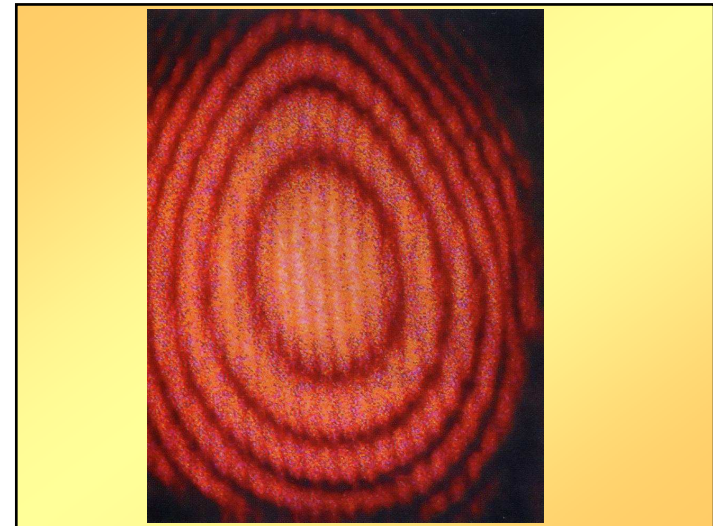
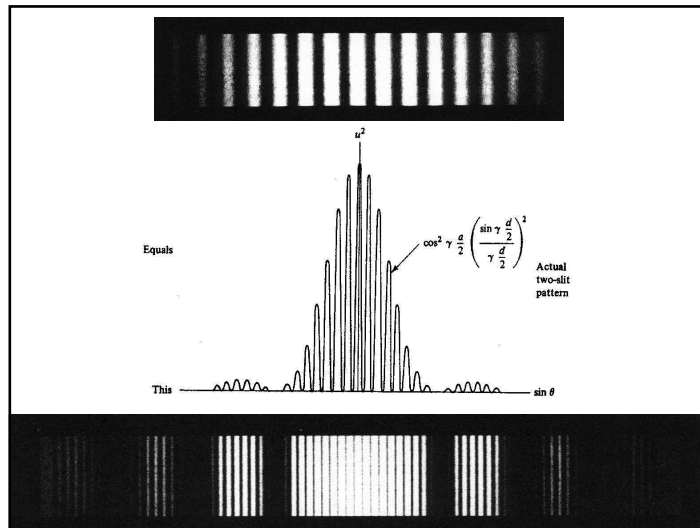
$$x_k = \frac{l}{d} \cdot (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ ahol } k \in \mathbb{N}$$

Maximális erősítésű helyek feltétele:

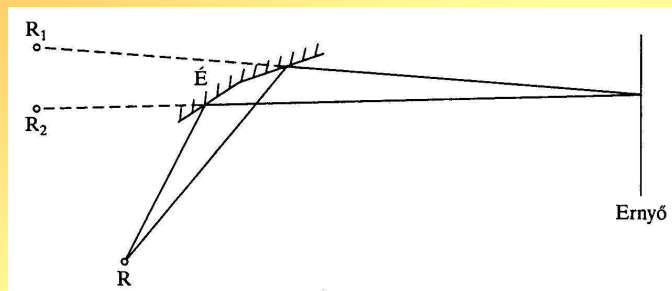
$$x_k = \frac{l}{d} \cdot 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ ahol } k \in \mathbb{N}$$

A Young-féle interferencia kísérlet(1802)



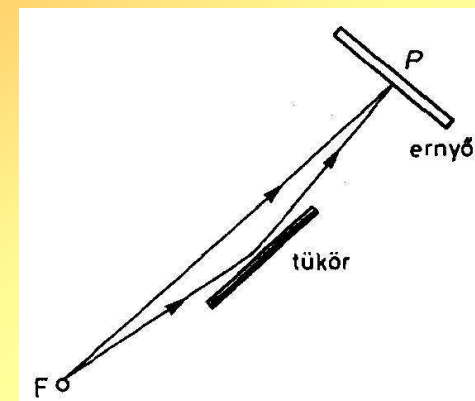


Kétsugaras interferencia kísérletek



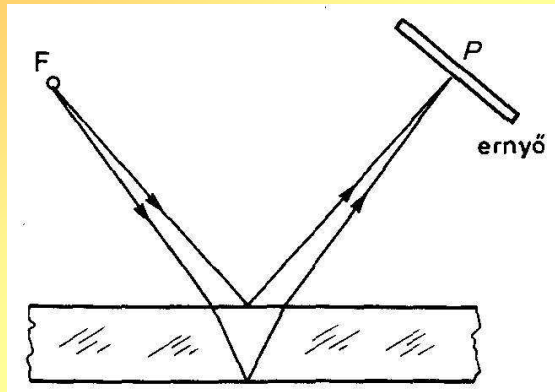
Fresnel-féle kettős tükör

Kétsugaras interferencia kísérletek



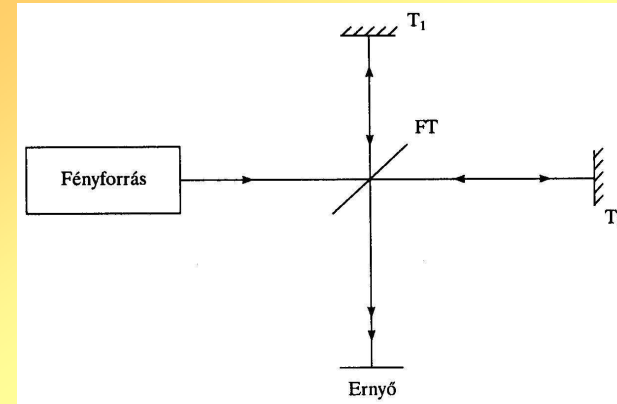
Egy tükrös interferencia kísérlet

Kétsugaras interferencia kísérletek



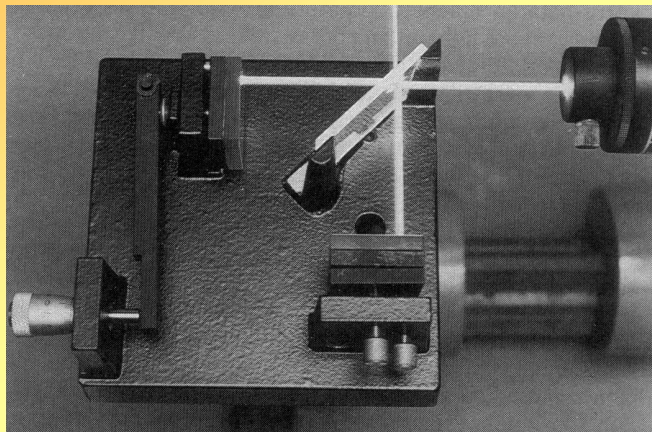
Vékony lemezes interferencia kísérlet

Kétsugaras interferencia kísérletek

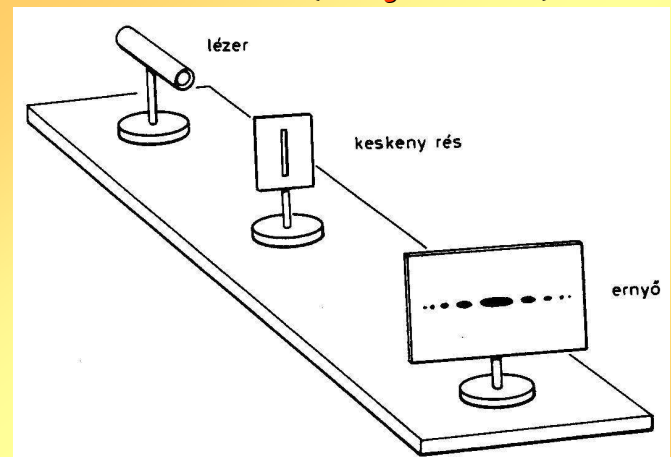


Michelson-féle interferométer

Kétsugaras interferencia kísérletek



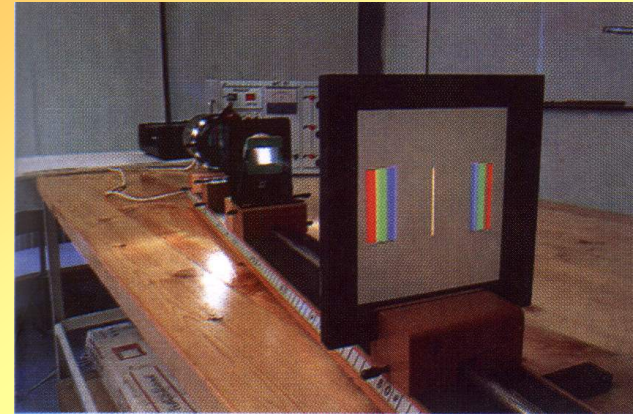
Diffrakció (elhajlás résen)



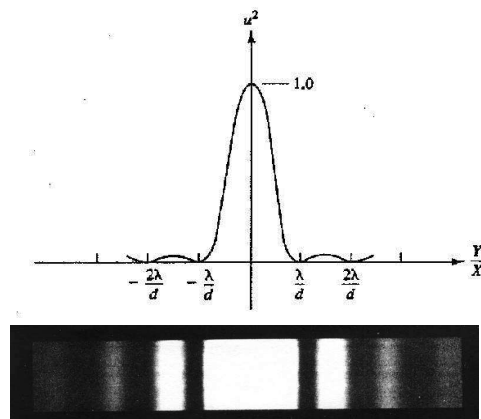
Diffrakció (elhajlás résen)



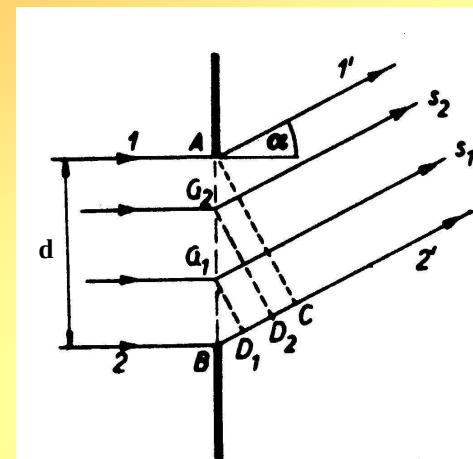
Diffrakció (elhajlás résen)



Diffrakció (elhajlás résen)



Diffrakció (elhajlás résen)



Diffракció (elhajlás résen)

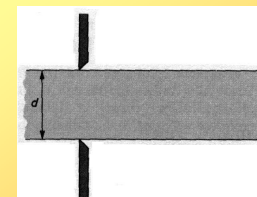
- A rés minden pontjából a Huygens-Fresnel elv értelmében elemi (gömb)hullámok indulnak ki.
- Szemleljünk ki egy párhuzamos nyalábot, mely a rés normálisával α szöget zár be.
- Az 1' és 2' sugár között $\overline{BC} = d \cdot \sin \alpha$ az útkülönbség
- A BC szakaszra felmérjük a $\lambda/2$ hosszúságú BD_1 és D_1D_2 szakaszokat
- A D_1 és D_2 pontokból AC-vel párhuzamosokat húzunk, ezáltal az AB rést G_1 és G_2 segítségével zónákra osztjuk

Diffракció (elhajlás résen)

- A BG_1 zóna bármely sugarához található egy sugár a G_1G_2 zónából, amely hozzá képest $\lambda/2$ fázisban van
- Így ez a két zóna kioltja egymást az ernyőn, tehát csak a "maradék" G_2A részzóna hatása jelenik meg az ernyőn

Nézzünk meg speciális α szögeket!

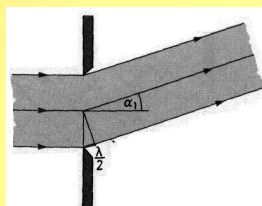
- Ha α nulla nincs fáziskülönbség a zónák között, így erősítést tapasztalunk az ernyőn.



Diffракció (elhajlás résen)

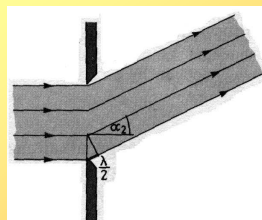
- Találunk olyan α_1 szöget, ahol AB éppen két zónát tartalmaz.
- Ekkor:

$$BC = d \cdot \sin \alpha_1 = 2 \cdot \frac{\lambda}{2} = \lambda$$
- Az ernyőn kioltási helyet látunk



- Találunk olyan α_2 szöget, ahol AB éppen három zónát tartalmaz.
- Ekkor:

$$BC = d \cdot \sin \alpha_2 = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$
- Ekkor az ernyőn maximális intenzitású helyet látunk



Diffракció (elhajlás résen)

Összefoglalva:

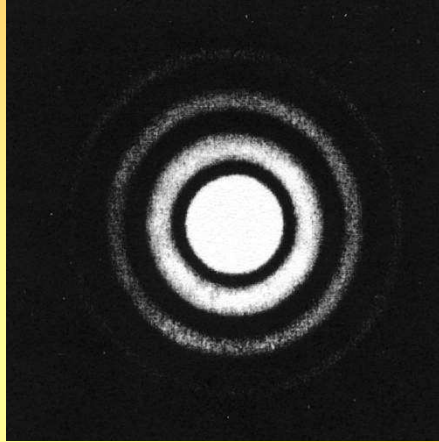
- Kioltási helyek iránya:

$$\sin \alpha = 2k \frac{\lambda}{2d}, \text{ ahol } k = 1, 2, \dots$$

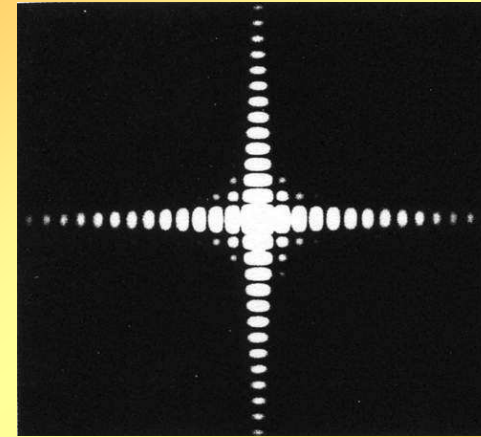
- Maximális intenzitású helyek iránya:

$$\sin \alpha = (2k + 1) \frac{\lambda}{2d}, \text{ ahol } k = 1, 2, \dots$$

Diffrakció (elhajlás kör alakú résen)



Diffrakció (elhajlás téglalap alakú résen)



Optikai rács (Diffrakciós rács)

- Fényerősebb képet kapunk, ha nem egy rést, hanem milliméterenként több száz rést alkalmazunk.

Optikai rács:

Egyenkénti szélességű, egymástól egyenlő távolságban párhuzamosan elhelyezkedő rések összessége.

- Fontos jellemzője a rácsállandó, ami a milliméterenkénti (vagy méterenkénti) osztások számát adja meg.

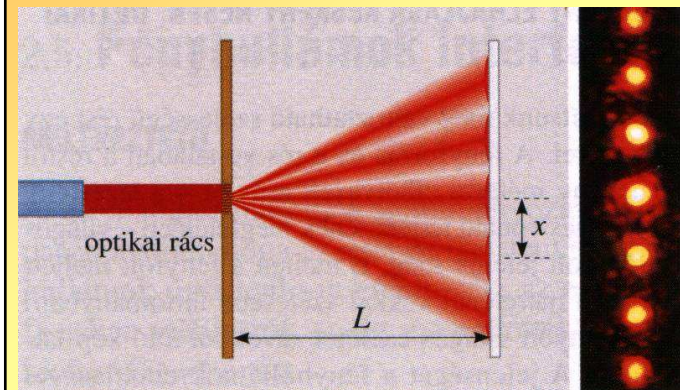
Pl.: ha mm-enként 200 osztás van, akkor a rácsállandó:

$$d = \frac{1}{200} \text{ mm} = 0,005 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

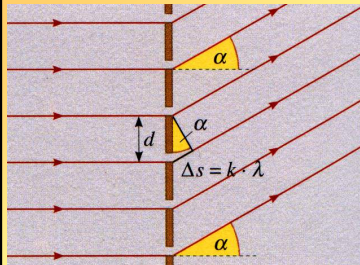
(Egy áteresztő és egy nem áteresztő tartomány együttes szélessége.)



Optikai rács (Diffrakciós rács)



Optikai rács (Diffrakciós rács)



Az ábráról leolvasható a két szomszédos nyaláb közötti útkülönbség:

$$\Delta = d \cdot \sin \alpha$$

Az erősítés feltétele:

$$\Delta = k\lambda, \text{ ahol } k \in \mathbb{N}$$

A **rácsegyenlet**, amely megadja az erősítési helyek irányát:

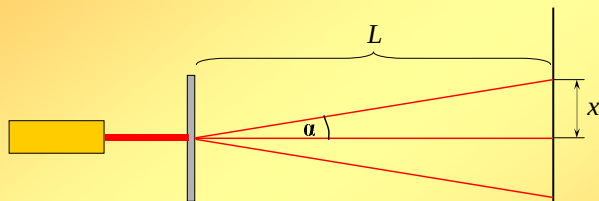
$$d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda, \text{ ahol } k \in \mathbb{N}$$

Optikai rács (Diffrakciós rács)

- A rács lehet transzmissziós rács, amikor az elhajlási kép a rács mögött keletkezik, vagy lehet reflexiós rács, amikor a rács előtt.
- Jedlik Ányos 1845-ben 1mm-re 1200 karcolatot tudott készíteni.
- Mivel az eltérítés függ a hullámhossztól, ezért ha a rácsra összetett fény érkezik, akkor azt a rács szineire bontja.

Optikai rács (Diffrakciós rács)

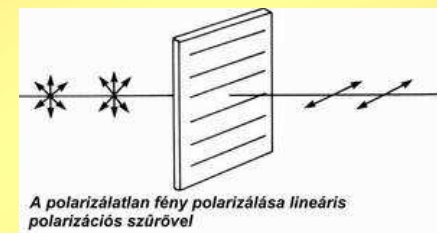
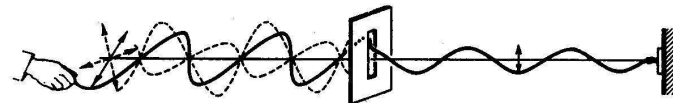
Mérjük meg a lézer hullámhosszát optikai ráccsal!



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{L} \Rightarrow \alpha \Rightarrow \sin \alpha$$

$$\left. \begin{array}{l} d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda \\ k = 1 \end{array} \right\} \lambda = d \cdot \sin \alpha$$

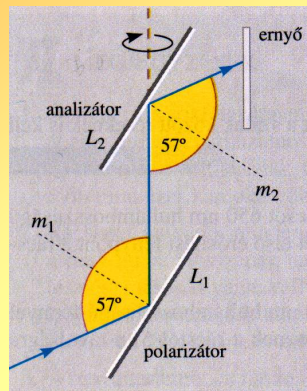
Polarizáció



A polarizálatlan fény polarizálása lineáris polarizációs szűrővel

Polarizáció

1808: Etienne Louis Malus (1775-1812)

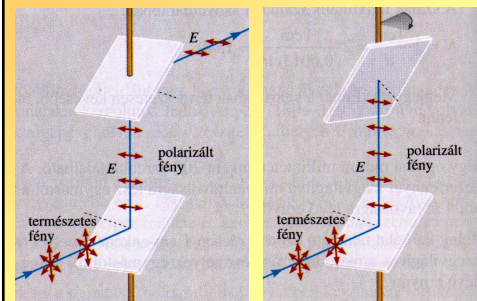


Ha a felső tükröt a ráeső fénysugár, mint tengely körül körbeforgatjuk, akkor az ernyőn felfogott folt negyedfordulatonként elsötétedik és kivilágosodik.



Az üveglap a ferdén ráeső fényt polarizálja. A visszavert fényben az E vektor már csak egy meghatározott síkban rezeg. (Az üveglap síkjával párhuzamosan.)

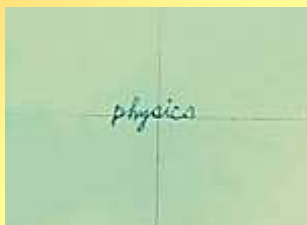
Polarizáció



Polarizáció

1669: Erasmus Bartholinus

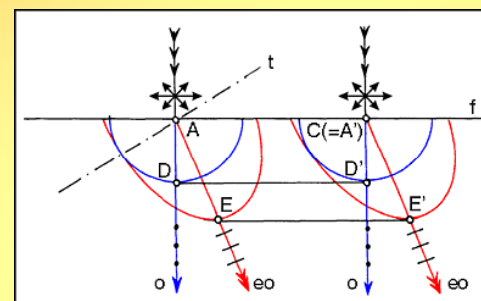
Az izlandi mészpátnak az a tulajdonsága, hogy rajta keresztül nézve a tárgyak kettőzve látszanak.



Polarizáció

Huygens magyarázata

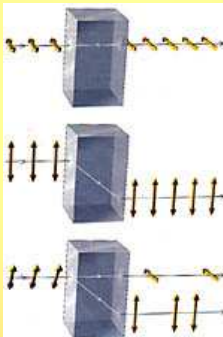
A fény ebben az anyagban kétféle módon terjed.
Rendes sugár (ordinárius) és
rendkívüli sugár (extraordinárius)



Polarizáció

Etienne Louis Malus (1775-1812)

Amikor a Luxembourg-palota ablakáról visszaverődő fényt nézi, nem két, hanem csak egy kép keletkezik. Ezt helyesen úgy értelmezte, hogy a palota ablakáról visszaverődött fény síkban polarizált, és a kristály ezért már nem tudja két összetevőre bontani.



Mindkét sugár polározott, egymásra merőleges polarizációs síkokban.

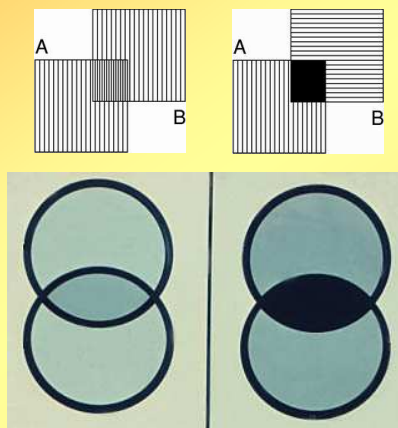
Polarizáció

Polarizált fényt ún. polarizációs szűrő segítségével is előállíthatunk.

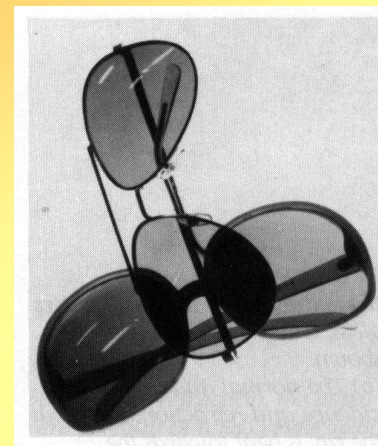


Üveglapra kettősen törő kristályokból álló vékony réteget visznek fel. A kettőtöréssel szétválasztott két fénysugár közül az egyiket az üveglap nagymértékben elnyeli, ezért csak a másik, meghatározott síkban polarizált fénysugár halad át rajta.

Polarizáció



Polarizáció



Polarizáció

polárszűrő nélkül

polárszűrővel



Polarizáció

polárszűrő nélkül

polárszűrővel



Polarizáció

polárszűrő nélkül

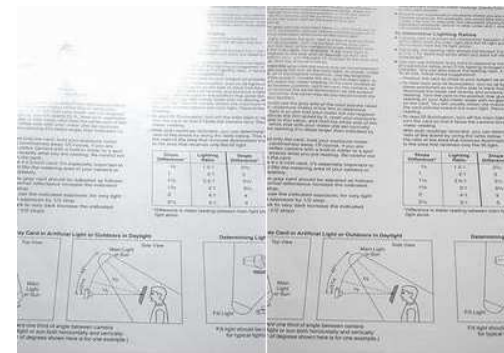
polárszűrővel



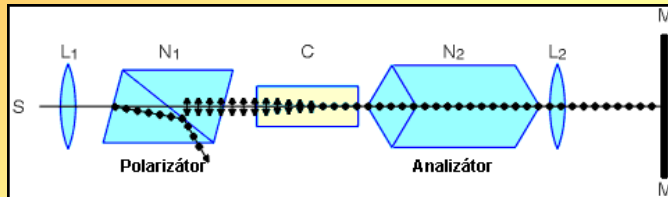
Polarizáció

polárszűrő nélkül

polárszűrővel

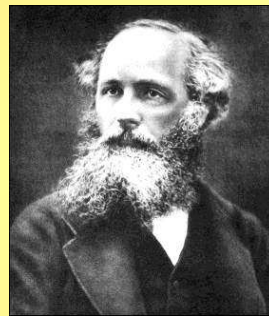
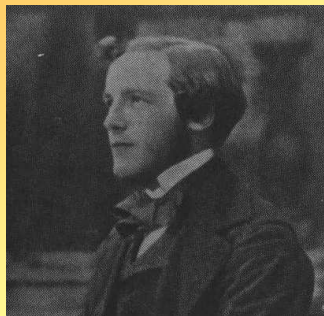


Polarizáció



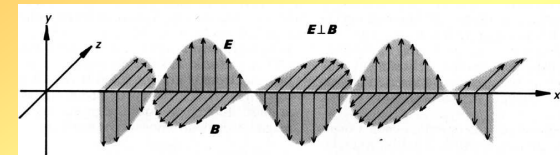
A cukorlodat elforgatja a fény polarizációs síkját.

Young	1802	fényinterferencia
Malus	1808	polarizáció
Young	1817	transzverzális hullám
Fresnel	1821	rugalmassági fényelmélet (éter) pol. és transzverzítás kapcs.
Foucault	1850	mérés $c_{\text{víz}} < c_{\text{lev}}$ $\Rightarrow$ korpuszkuláris elm. $\leftrightarrow$
Maxwell	1865	elektromágneses fényelmélet



James Clerk Maxwell (1831-1879)

A fény transzverzális elektromágneses hullám az *elektromos és mágneses tér (E és B vektorok) periodikus változása adja a hullámzást.*



Energiaáram-sűrűség:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad [S] = \frac{W}{m^2}$$

A Poynting-vektor azt mutatja meg, hogy milyen irányban, és egységnyi idő alatt mennyi energia áramlik át egy adott felületen.