

# **Fizikai optika**

## **(Vázlat)**

1. Történeti áttekintés
2. A fény interferenciája
  - a) Young-féle kísérlet
  - b) Fresnel-kísérlet
  - c) Fényinterferencia észlelhetőségének feltétele
  - d) Interferencia vékony rétegen
3. A fény elhajlása
  - a) Fényelhajlás optikai résen
  - b) Fényelhajlás optikai rácson
4. A fény polarizációja
5. A lézer
6. Fizikatörténeti vonatkozások

## Történeti áttekintés

A fény egyenes vonalú terjedését, visszaverődését és törését már az ókorban is ismerték. A fény terjedésének módjáról viszont abban a korban semmilyen elképzelés nem volt.

Mint tudjuk a fény elektromágneses hullámként terjed. A fényrel kapcsolatos **hullámelméletet** **Christian Huygens** holland fizikus alapozta meg a XVII. sz. második felében.

Feltételezte, hogy a fény hullámként terjed. Ez akkor merész feltételezés volt, mert a kor nagy fizikusa, Newton a fény részecsketermészetét hangsúlyozta. Huygens hullámelméletével több fényjelenséget is meg tudott magyarázni, így Newtonnal folytatott vitájában felülkerekedett.

Huygens hullámelméletét a XIX. században **Augustin Fresnel** francia fizikus fejlesztette tovább az interferencia figyelembevételével.

**Maxwell** elméleti levezetései és **Hertz** kísérletei bizonyították, hogy a fény elektromágneses hullám.

A geometriai optika törvényei a fény hullámhosszával összemérhető vagy annál kisebb távolságok esetén érvényüket veszítik. Ilyen kis távolságok esetén már érezhető a fény hullámtermészete.

A fény hullámtermészetét bizonyítja:

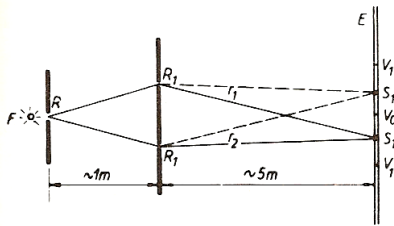
- a fény interferenciája,
- a fény elhajlása és
- a fénypolarizáció.

# A fény interferenciája

**Interferenciának nevezzük a hullámok találkozásánál észlelt jelenséget.**

## a) Young-féle kísérlet

Fénnyel kapcsolatban az első tervszerű interferencia kísérletet 1802-ben Young végezte el.



A megvilágított keskeny **R** részből, mint fényforrásból kiinduló fényhullámok a kb. 1 m-re lévő, szimmetrikus helyzetű **R<sub>1</sub>** és **R<sub>2</sub>** réseket azonos fázisban érik el. A résből kiinduló fényhullámok az ernyőn homogén fény esetén sötét és világos csíkokat hoznak létre.

A jelenség azzal magyarázható, hogy a két résből azonos fázisban induló fénysugarak az ernyőn való találkozásig különböző hosszúságú utat tesznek meg.

Ha a fénysugarak azonos fázisban találkoznak, akkor erősítik egymást, ami a világos sávokat eredményezi.

Az azonos fázisban való találkozás feltétele az, hogy a hullámok által megtett utak különbsége a félhullámhossz páros számú többszöröse legyen.

$$\Delta s = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Ha a fénysugarak ellentétes fázisban találkoznak, akkor gyengítik egymást, ami a sötét sávokat eredményezi.

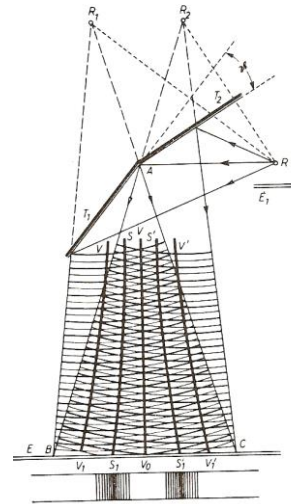
Az ellentétes fázisban való találkozás feltétele az, hogy a hullámok által megtett utak különbsége a félhullámhossz páratlan számú többszöröse legyen.

$$\Delta s = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

## b) Fresnel-féle kísérlet

Fresnel 1816-ban interferencia-kísérletét kettős tükörrel végezte el.

A két tükör hajlásszöge nagyon kicsi volt. Egy résen, mint fényforráson keresztül mindkét tükörrre azonos fázisban induló fénysugár érkezett. A tükörökről való visszaverődés után a találkozásig a fénysugarak különböző hosszúságú utat tettek meg. Ennek volt köszönhető, hogy homogén fény esetén az ernyőn sötét és világos sávok jelentek meg.



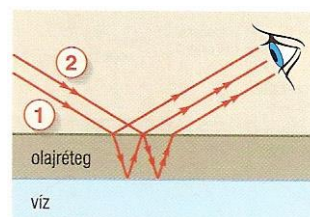
## c) Fényinterferencia észlelhetőségének feltétele

A hullámok találkozásánál mindig bekövetkezik az interferencia. Az **észlelhető interferenciának** az a feltétele, hogy egy adott helyen minden pillanatban ugyanakkora fáziskülönbséggel találkozzanak a hullámok. Az ilyen hullámokat **koherens** hullámoknak nevezzük. Az időben állandó fáziskülönbséggel találkozó hullámokat koherens hullámoknak nevezzük.

Ma már tudjuk, hogy egy megvilágított felületen miért nem észlelünk erősítést, gyengítést, tehát interferenciát. A fénykibocsátás az atomok véletlenszerű, egymástól független folyamata. A megvilágított felület egy adott pontjába rendszertelenül érkeznek a különböző fényhullámok sokasága, így a másodperc törtrésze alatt változik az interferenciakép.

A legbiztosabban akkor valósítható meg észlelhető interferencia, ha azonos atomi folyamatokban keletkező fényhullámokat különböző hosszúságú utakon vezetünk a találkozásig. Ilyenkor arra kell vigyázni, hogy az útkülönbség ne legyen nagyobb 1 m-nél, mert ilyenkor az egyik fénysugár lekési a másikat.

## d) Interferencia vékony rétegen



Fényben színes foltokat látunk

- vékony olajrétegen,
- szappanbuborékon,
- két üveglap közé szorított levegőrétegen,
- lángból kivett acéllemezen.

Ez is a fényinterferenciával magyarázható.

Az olajréteg, a szappanhártya, a levegőréteg, az acélon képződött oxidréteg vékony lemeznek tekinthető.

Amikor a lemez vastagsága a hullámhossz nagyságrendjébe esik, akkor fellép az interferencia. Ilyenkor a fény egy része a külső felületről, a másik behatol a hártyába és a hártya belső felületéről verődik vissza. A kétféle úton haladó fény útkülönbsége miatt lép fel az interferencia. Különböző frekvenciák különböző helyeken erősítik egymást, ezért látunk fehér fényben különböző színű gyűrűket.

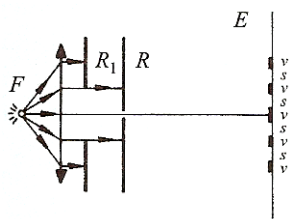
## A fény elhajlása

Fényelhajlásról akkor beszélünk, ha az egyenes vonalban terjedő fény útjába akadályt helyezünk, és az akadály mögötti térrészben is észlelünk hullámjelenséget.

Az elhajlás jelensége könnyen megfigyelhető, pl. ha egy fekete papíron varrótűvel lyukasztott apró nyíláson keresztül izzólámpára nézünk ki. A lámpa körül ilyenkor színes gyűrűket látunk.

Az elhajlás jelenségének magyarázata a **Huygens-Fresnel elv** alapján lehetséges. Ez az elv kimondja, hogy **a hullámfelület minden pontjából elemi gömbhullámok indulnak ki (Huygens-elv), és ezeknek az egymással koherens elemi hullámoknak az interferenciája határozza meg a tér bármely P pontjában észlelhető fényhatást (Fresnel-elv).**

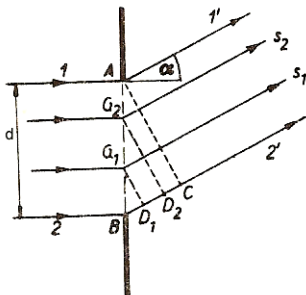
### c) Fényelhajlás optikai résen



#### Kísérlet

Egyenes szálú homogén fényű izzóval világítunk meg egy az izzószállal párhuzamos helyzetű rést. Az **R<sub>1</sub>** résből, mint fényforrásból kis fényfolt vetődik az ernyőre. Az **R** rés szűkítésével a fényfolt mindkét oldalán sötét és világos foltok sorozata jelenik meg ott, ahol a fény egyenes vonalú terjedése alapján árnyékot várnánk. A rés szűkítésével a foltok távolodnak. Fehér fény esetén a foltok a fehér fény színekepeiből állnak, kívül a vörös, belül az ibolya (vörös, narancs, sárga, zöld, kék ibolya).

A jelenség magyarázata:



Huygens-Fresnel elv értelmében a rés minden pontjából azonos fázisú elemi hullámok indulnak ki. Válasszuk ki egy olyan  $\alpha$  irányt, ahol erősítést tapasztalunk!

Az  $\alpha$  irányba induló párhuzamos fénynyaláb két szélső sugara között az útkülönbség  $\overline{BC} = d \cdot \sin \alpha$ , ahol  $d$  a rés mérete. Erre az útkülönbségre felmérjük a félhullámhosszúságú szakaszokat, majd ennek

segítségével a fénynyalábot zónákra osztjuk. Az egymás mellett lévő zónák között az útkülönbség félhullámhossznyi. Így, ha ezek az ernyőn találkoznak, akkor kioltják egymást.

Vagyis, ha a nyalábot páros számú zónára tudtuk felosztani, akkor az egymás mellett lévő zónák kioltják egymást. Ebben az irányban az ernyőn sötét foltot észlelünk.

Ha a nyalábot páratlan számú zónára tudtuk felosztani, akkor az egymás mellett lévő zónák kioltják egymást, de marad egy részzóna, ami megvilágítja az ernyőt.

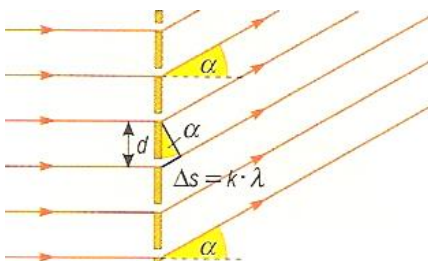
**Intenzitásmaximum**, azaz **erősítés** abban az  $\alpha$  irányban következik be, ahol a résből kilépő fénynyaláb két szélső sugara között az útkülönbség a félhullámhossz páratlan számú többszöröse.

$$\Delta s = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

**Intenzitásminimum**, azaz **kioltás** abban az  $\alpha$  irányban következik be, ahol a résből kilépő fénynyaláb két szélső sugara között az útkülönbség a félhullámhossz páros számú többszöröse.

$$\Delta s = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

#### d) Fényelhajlás optikai rácson



Az optikai rács rések sorozata, melyet úgy készítenek, hogy üveglemezre nagyon sűrűn párhuzamos vonalakat húznak (1 mm-en több ezer vonal is lehet).

Rács esetén a rések olyan vékonyak, hogy mindegyik egy-egy pontszerű fényforrásnak tekinthető, amelyből adott pillanatban azonos

fázisban lépnek ki a fénysugarak. Az egymás mellett lévő fénysugarak távolsága olyan kicsi, hogy közel párhuzamosoknak is tekinthetjük őket.

Azokban az irányokban tapasztalunk **maximális erősítést**, ahol az egymás mellett lévő résekből kilépő fénysugarak között az útkülönbség a félhullámhossz páros számú többszöröse.

$$\Delta s = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Az útkülönbség a  $\Delta s = d \cdot \sin\alpha$  összefüggéssel határozható meg, ahol  $d$  a rácsállandó.

A  $d$  rácsállandó két szomszédos rés távolságát adja meg.

Azokban az irányokban tapasztalunk kioltást, ahol az egymás mellett lévő résekből kilépő fénysugarak között az útkülönbség a félhullámhossz páratlan számú többszöröse.

$$\Delta s = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

A rés és a rács elhajlási képe nem folyamatosan halványodó, hanem sötét és világos sávokból áll.

Rács esetén sokkal fényesebb fényfoltokat látunk, mint rés esetén, és a közöttük lévő távolságok is sokkal nagyobbak.



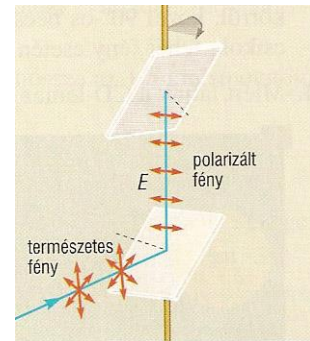
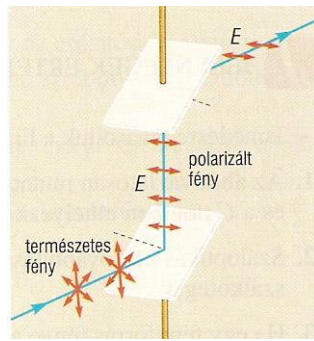
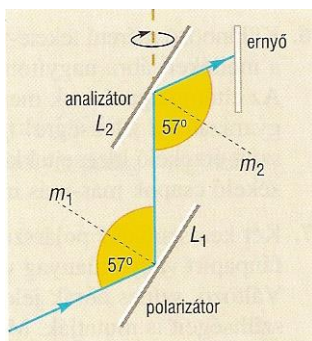
## A fény polarizációja

**Polarizációnak** nevezzük azt a jelenséget, amikor a különböző rezgésirányú hullámok közül — egy alkalmasan megválasztott eszköz segítségével — kiválasztunk egyfajta rezgésirányú hullámot.

Ebből következik, hogy csak a **tranzverzális hullámot** lehet polarizálni.

Mivel a **fény** polarizálható, ebből következik, hogy **tranzverzális hullám**.

MALUS végezte el 1808-ban azt a kísérletet, amely bizonyította, hogy a fény polarizálható.

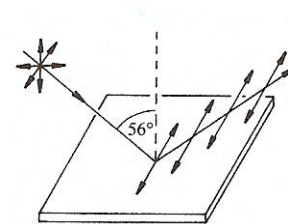


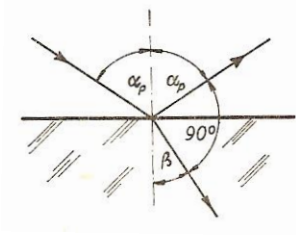
Természetes fényt bocsátott egy üveglapra, majd a vele párhuzamos üveglapot a ráeső fény mint tengely körül forgatta. Azt tapasztalta, hogy a második üveglap által visszavert fény intenzitása periodikusan változik.

A jelenség a következőképpen értelmezhető:

Az első tükör (polarizátor) a rá megfelelő beesési szögben érkező fényből csak egy bizonyos rezgési síkú fényt ver vissza. A polarizátor azokat a rezgési síkú hullámokat tudja visszaverni, amelynek síkja "belesimul" az üveg síkjába.

A második tükör (analizátor) forgása közben, amikor a tükör síkja éppen merőleges erre a rezgési síkra, akkor a poláros fényt a tükör elnyeli.





Egy, a poláros fényvel kapcsolatos törvényt Brewster állapított meg.

**Brewster-törvény:**

Egy üveglap által visszavert fény akkor teljesen poláros, ha a visszavert és a megtört fénysugár által bezárt szög  $90^0$ -os.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = n$$

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = n$$

$$\operatorname{tg}\alpha = n$$

*Tehát egy felületről visszavert fény akkor lesz teljesen poláros, ha olyan szögben éri a felületet, hogy a beesési szög tangense a törésmutatóval egyezik meg.*

A poláros fény visszaverődéskor, egyes anyagokon való áthaladáskor másképpen viselkedik, mint a természetes fény. Ezt a gyakorlatban is kihasználják.

Bizonyos láncmolekulákat tartalmazó anyagokból polárszűrőt készítenek, és ezt használják a napszemüvegeknél, fényképezőgépeknél. Ezek a molekulák kiszűrik a tükröző felületek zavaró fényeit.

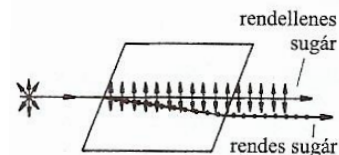
Poláros fény előállítható **kettős törés** útján is. Bizonyos fajta kristályok (pl. mészpát), a beléjük lépő fénysugarakat kettéválasztják:

- **Rendes sugárra**

Ez a sugár a fénytörés törvénye szerint halad át az anyagon, tehát követi a Snellius-Descartes törvényt.

- **Rendellenes sugárra**

Nem követi a fénytörés törvényét, irányváltoztatás nélkül halad.



**Mindkét fénysugár:** poláros,  
rezgési síkjuk egymásra merőleges.

A polaroidszűrőket úgy készítik, hogy a két fénysugár közül csak az egyik jusson át az anyagon.

# A lézer

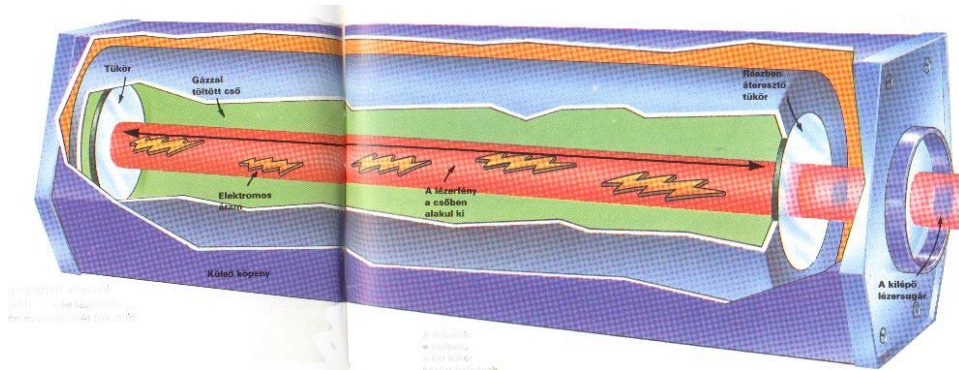
A lézer működésének elméletét 1957-ben két amerikai tudós dolgozta ki. 1960-ban készült el az első működő lézer.

## A lézer fény tulajdonságai

- A lézer fénye egyetlen színt tartalmaz (monokromatikus).
- A lézersugár majdnem pontosan párhuzamos.
- Koherens, rendezett fénynyaláb.
- Nagy intenzitású. (1 m<sup>2</sup> felületen egységnyi idő alatt átáramló energia nagy.)

## Hogyan keletkezik a lézer fénye?

*„Fényerősítés indukált sugárzás kibocsátásával”* (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kifejezés angol szavainak kezdőbetűiből.



*Gázlézer egyszerűsített rajzábrája*

- A lézerben egy gázzal töltött üvegcső van.
- A gázt a rajta átfolyó elektromos áram gerjeszti.
- A gerjesztett atomok egy része spontán fotonokat sugároz ki. Ez a **spontán emisszió**.
- A kibocsátott foton egy másik gerjesztett atomnak ütközik.
- A foton a gerjesztett atomot egy ugyanolyan foton kibocsátására készíti. Ez az **indukált emisszió**.
- Így már két azonos fázisú foton van, amely két újabb atomba ütközhet.
- A láncreakció során egyre több azonos fázisú foton keletkezik.
- Az indukált emisszióval és az erősítéssel kezdődik a lézer működése.

- A csőben haladó lézertény a tükrökről visszaverődik, és így jön létre a párhuzamos nyaláb, amelynek egy része kisugárzódik.

## A lézerek fajtái

- Gázlézer
- Festéklézer
- Szilárdtest-lézer
- Kémiai lézer

## A lézer teljesítménye

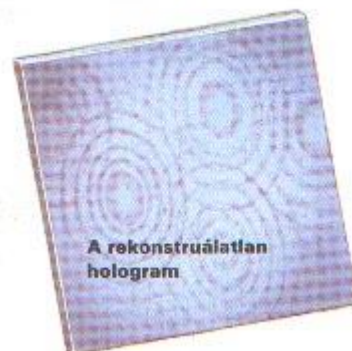
Néhány milliwattól sok millió wattig terjed. Egy tíz wattos lézer fénye átlukaszt egy könyvet.



## **HOLOGRAM**

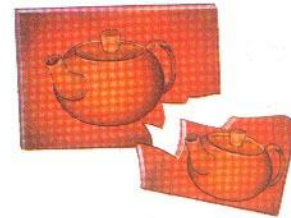
- A hologram egy olyan fénykép, amelyet lézertel készítenek.
- Sajátossága, hogy háromdimenziós tömör képet ad.
- A hologram a fényképezőlemezen zavaros maszatnak látszik.

### **A hologram közelről**



- A hologram szó „teljes képet” jelent. Ha el is törük a lemez, minden darabjáról az egész tárgy rekonstruálható, nemcsak a tárgy egy része.
- Ha a hologramot tartalmazó lemezt megvilágítjuk, pontosan ugyanúgy veri vissza a fényt, mint maga a tárgy.

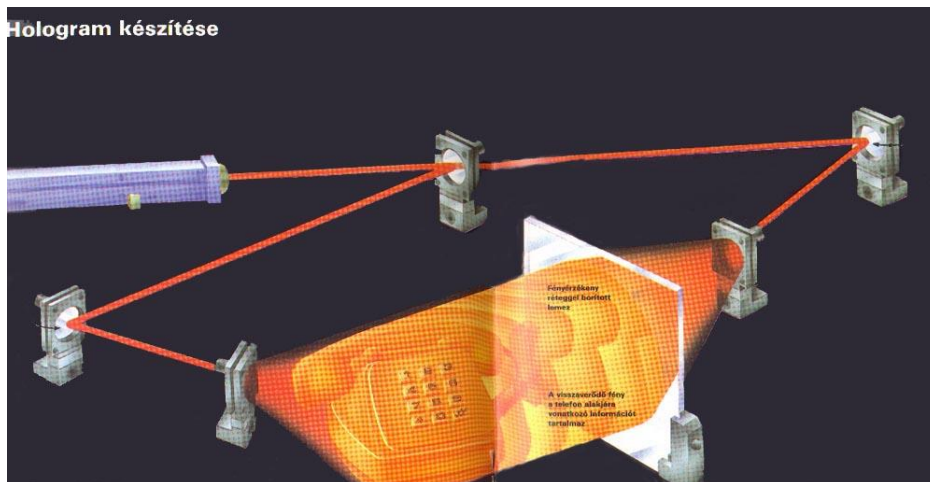
Teljes kép



## Hologram készítése

- A holográfia fényképezési eljárás, ahol a lézersugarakat tükrökkel és lencsékkel irányítják.
- A lézerfény hatására a fényképezőlemezen kémiai változások mennek végbe. Ez őrzi meg a képet.
- Minden rezgés, még a hang is elkeni a hologramot.
- A hologram színe a lézer színétől függ.
- A lézerből kilépő sugár egy nyalábosztóra kerül, amely azt két részre osztja:

**Tárgysugár**                      közvetlenül a **tárgyra** irányul  
**Referenciasugár**                közvetlenül a **lemezre** irányul.



- A tárgysugár és a referenciasugár a lemezen találkozik.
- A létrejövő interferenciaképet rögzíti a fényérzékeny lemez.
- Ha látni akarjuk a hologramot, akkor a fényképezőlemezt a referenciasugár oldaláról kell megvilágítani.



## Témakörrel kapcsolatos fizikusok

### Huygens, Christian (1629 – 1695)



**Holland matematikus, fizikus és politikus.**

**Newtonnal szemben hirdette, hogy a fény hullámként terjed.**

Németországban, Angliában és Franciaországban tanult. Hazatérve Hágába matematikai problémák foglalkoztatták. 1657-ben feltalálta az ingaórát. Kidolgozta a matematikai és fizikai inga elméletét és 1673-ban adta ki Az ingaóra című könyvét, melyet sokévi számítások és töprengések során alkotott.

A körmozgást vizsgálva bevezette a centrifugális erő fogalmát. 1669-ben megadta a rugalmas ütközés törvényeit és megalapozta a fény hullámelméletét. Tökéletesített távcsövével 1655-ben fölfedezte a Szaturnusz legnagyobb holdját, a Titánt, így felismerte, hogy a bolygót gyűrű övezi.

### FRESNEL, AUGUSTIN-JEAN (1788-1827)

**Francia fizikus**



Úttörő szerepet játszott az optikában. Sokat tett azért, hogy a fény hullámelmélete elfogadottá váljék. Tanulmányozta a fényelhajlást, több eszközt is alkotott az interferenciacsíkok létrehozására. Eredményeit matematikai elemzésnek alávetve, több akadályt hárított el a hullámelmélet útjából.

## BREWSTER, SIR DAVID (1781 – 1868)

Skót fizikus



Brewster az optikai és a polarizált fényvel kapcsolatos kísérleti munkásságáról nevezetes. Egyszerű matematikai összefüggést fedezett fel a polarizációs szög és a visszaverő közeg törésmutatója között. E törvény hasznosnak bizonyult a nem átlátszó anyagok vagy a kis mennyiségű anyagminták törésmutatójának a meghatározásában.

## JEDLIK ÁNYOS (1800-1895)

Magyar fizikus



**Fizikai optikával az kapcsolja össze a nevét, hogy ő készítette az első "vonalazógépet", amely alkalmas volt optikai rács készítésére.**

1839-től negyven éven át a budapesti Tudományegyetem fizika-mechanika tanszékén tanított. Tankönyvei révén a fizika magyar szókincsének egyik megalkotójaként tartják számon. 1848-ban a bölcsészkar dékánja, 1863-ban az egyetem rektora volt. 1858-ban a Magyar Tudományos Akadémia levelező, majd 1873-ban tiszteletbeli tagja lett. Tudományos munkásságában megelőzte kortársait, de legfontosabb találmányáról, az ősdinamóról csak 1856-ban beszélt, az első írásos dokumentum erről az egyetem 1861-ben összeállított leltárkönyve volt. Az írásos bizonyíték egyértelmű ugyan, de mivel találmánya nem vált ismertté, a dinamó feltalálása Siemens nevéhez fűződik. 1827-ben kezdett elektromágneses forgókészülékkel kísérletezni, amelyet "villámdelejes forgony"-nak nevezett. Ebben az álló- és forgórész egyaránt elektromágnes volt. 1873-ban a bécsi világkiállításon mutatta be csöves villamosszedőkből alkotott "villámfeszítő"-jét.

## MAXWELL, JAMES CLERK (1831- 1879)

Skót fizikus

Egységes elméletet dolgozott ki az elektromos és a mágneses jelenségek leírására. Elméletében feltételezte, hogy az időben változó elektromos mező mágneses mezőt hoz létre. Ezt a feltevést Hertz bizonyította.



Előkészítette az utat Einstein speciális relativitáselméletéhez, és gondolatai a XX. századi fizika másik nagy eredményének, a kvantumelméletnek a megszületését is elősegítették. A XIX. századi tudósok közül ő gyakorolta a legnagyobb hatást a XX. századi fizikára, kulcsfontosságú felfedezései miatt Sir Isaac Newtonnal és Albert Einsteinnel helyezik egy sorba.

## HERTZ, HEINRICH (RUDOLF) (1857-1894)

Német fizikus

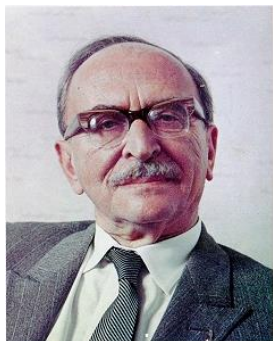


**Kísérlettel igazolta Maxwell elméletét.**

Elsőként adott le és fogott fel rádióhullámokat. Megállapította, hogy a fény és a hő elektromágneses sugárzás. Elektromágneses hullámokat állított elő, megmérte hullámhosszukat és sebességüket, illetve azt is kimutatta, hogy rezgésük természete, visszaverődési és törési képességük ugyanolyan, mint a fényé és a hőhullámoké.

## GÁBOR DÉNES (1900-1979)

A hologram feltalálója



- Vizsgálta a higanygőz és nátriumgőz plazmaállapotát.
- Foglalkozott elektronmikroszkópiával.
- 1949-től a londoni egyetem tanára.
- Felfedezte a holográfiát, amiért 1971-ben fizikai Nobel-díjat kapott.



## EGYÉB FELFEDEZÉSEI

- Olyan Wilson-féle ködkamrát szerkesztett, ahol a részecskék sebessége is mérhető volt.
- Készített analóg számítógépet.
- Készített lapos, színes TV képcsövet.

Könyvtárát a Római Akadémiára hagyta, amelyet 1993-tól adományként a Gábor Dénes Főiskola őriz.