

2. SUGÁRZÁSOK

KELLERMAYER MIKLÓS

SUGÁRZÁS MINDENÜTT



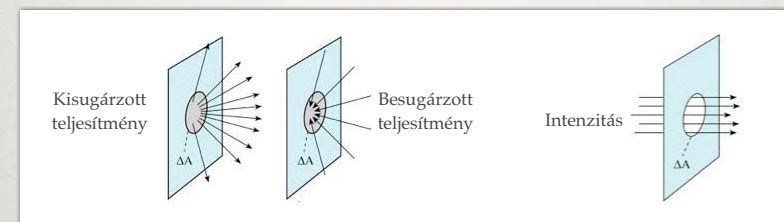
Forrás → Sugárzás → Besugárzott test

SUGÁRZÁSOK

- Sugárzás - alapfogalmak
- Hullámmozgás. A fény mint hullám
- Elektromágneses sugárzás, spektrum
- Feketetest-sugárzás, Planck-elmélet
- Fotoelektromos hatás. A fény mint részecske
- Fény kettős természete
- Anyaghullámok, az elektron mint hullám
- Alkalmazások

SUGÁRZÁS

Minden sugárzásban **energia** terjed.



Kisugárzott
teljesítmény (W)

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Kisugárzott
felületi teljesítmény

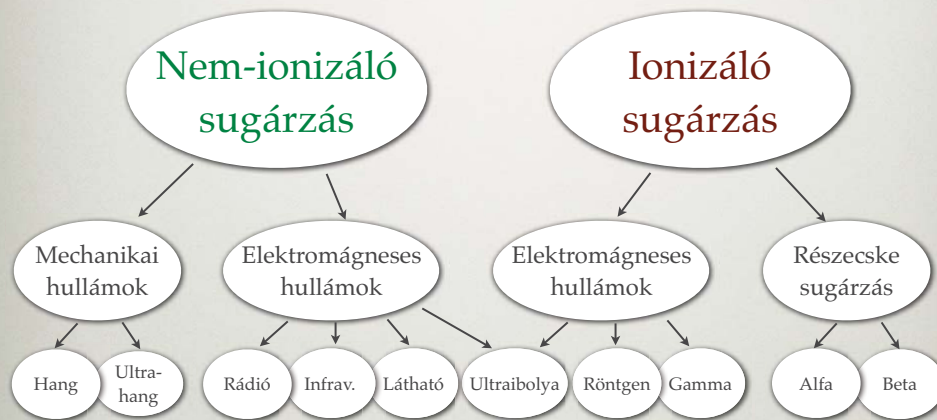
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

Energiaáram-sűrűség,
Intenzitás

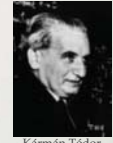
$$J_E = \frac{\Delta I_E}{\Delta A}$$

Energiaáram-erősség

SUGÁRZÁSOK FAJTÁI



A REZGÉSEK HULLÁMFORRÁSOK



Kármán Tódor
(Theodore von Kármán)
1881-1963



Kármán-féle örvények

Tacoma Narrows Bridge ("Gallopín' Gertie")
("Gertie the Dinosaur" (1914), rajzfilm, Winsor McCay)

Átadás: 1940. július 1.

Szélben (50-70 km/h): órákon át tartó rezgés

Rezgés amplitudó eleinte 0,5 m, majd egy tartókábel elszakadása után akár 9 m!

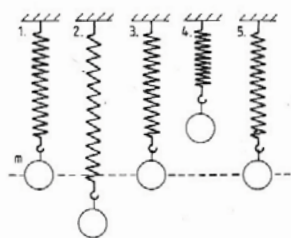
Összeomlás: 1940. november 7.



Tacoma Narrows Bridge ma

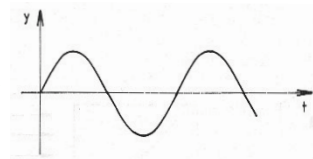
REZGŐMOZGÁS

Harmonikus rezgés (SHO):
sinus függvénnyel leírható



Rugóra függesztett tömeg

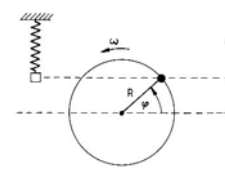
+Kitérés
↑
Egyensúlyi helyzet
↓
-Kitérés



Kitérés vs. idő

HARMONIKUS REZGÉS

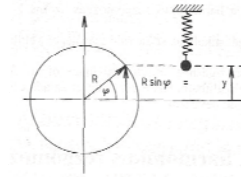
Harmonikus rezgés és körmozgás



$$y = R \sin \varphi$$

φ =fázisszög t időnél
y=kitérés t időpontban

y maximum $\sin \varphi = 1$ -nél
Maximális kitérés: "amplitudó (A)"

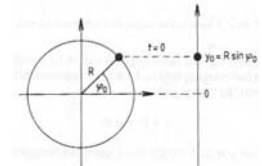


$$\varphi = \omega t$$

ω =szögsebesség

$$y = A \sin(\omega t)$$

Ha $\varphi \neq 0$



$$y_0 = A \sin \varphi_0$$

y_0 =kezdeti kitérés
 φ_0 =kezdeti szög

$$y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

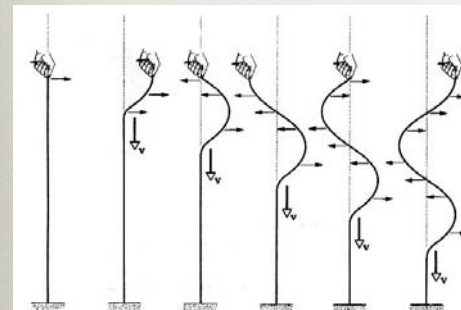
$$y = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right)$$

HULLÁMOK TÍPUSAI

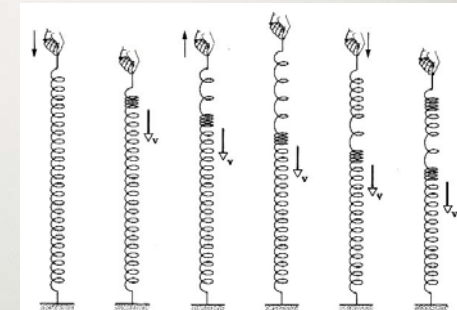
- Keletkezés **mechanizmusa** szerint:
 1. Mechanikai: rugalmas deformáció, rugalmas közegben terjed
 2. Elektromágneses: elektromos zavar, vákuumban (is) terjed
- Terjedés **dimenziója** szerint:
 1. egydimenziós (kötél)
 2. felületi hullámok (tó)
 3. térbeli hullámok (hang)
- A rezgés és terjedés relatív **irányai** szerint:
 1. Longitudinális
 2. Tranzverzális

REZGÉS ÉS PROPAGÁCIÓ RELATÍV IRÁNYAI

Tranzverzális hullám



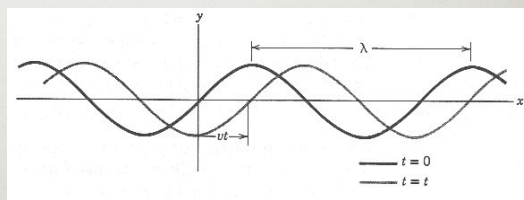
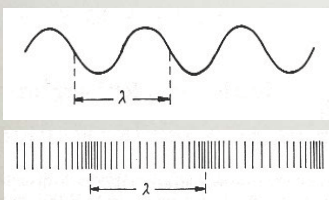
Longitudinális hullám



HULLÁMMOZGÁS PARAMÉTEREI

- Periódusidő (T)
- Frekvencia: ($f=1/T$)
- Terjedési sebesség (v, c)
- Azonos pontok közötti távolság: "hullámhossz" (λ)

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$



HULLÁMJELENSÉGEK I. DIFFRAKCIÓ, HULLÁMELHAJLÁS

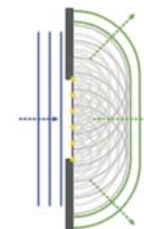
Huygens-Fresnel elv:
egy hullámfront minden pontja további hullámok forrása



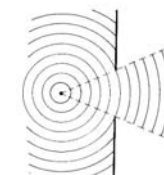
Christiaan Huygens
(1629-1695)



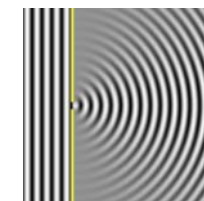
Augustin-Jean Fresnel
(1788-1827)



Hullámhossznál sokkal
nagyobb rés



Hullámhossznál kisebb rés



HULLÁMJELENSÉGEK II. INTERFERENCIA

Alapja: Szuperpozíció elve



HULLÁMJELENSÉGEK III. POLARIZÁCIÓ

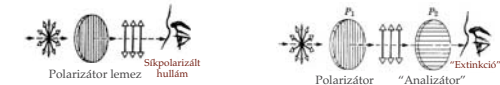
Polarizáció: kitüntetett irányú rezgés
Kettős törés: anizotróp terjedési sebesség
Csak a **tranzverzális** hullámok polarizálhatók.



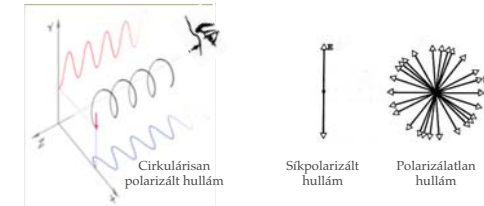
Mechanikai hullámok polarizálása



Elektromágneses hullámok polarizálása

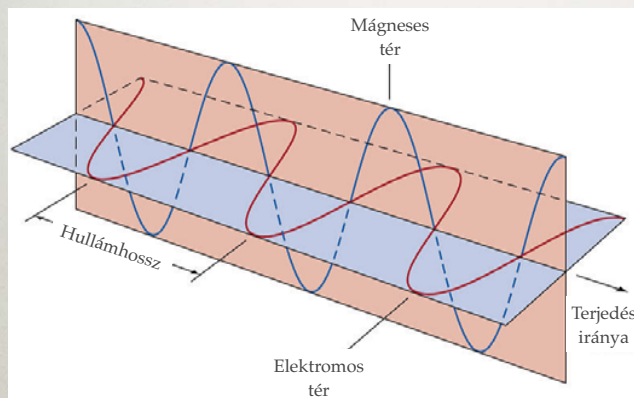


Polarizáció illusztrálása a terjedési irányból nézve:



AZ ELEKTROMÁGNESES HULLÁM

Térben tovaterjedő elektromágneses zavar.
Rugalmas közeg nem szükséges a terjedéséhez.



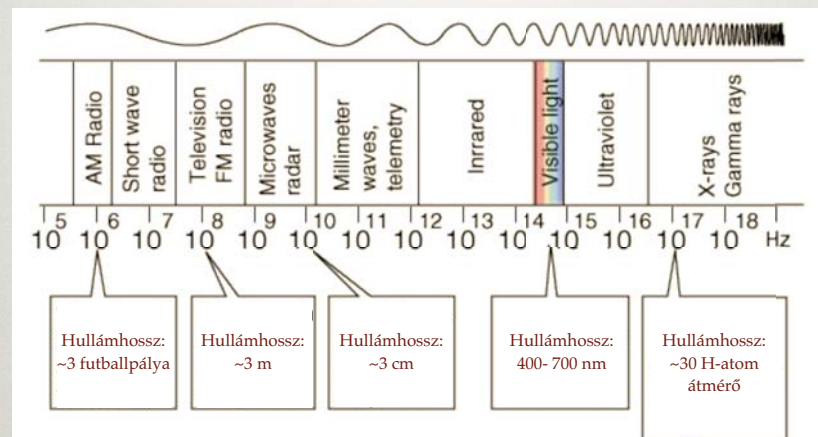
James Clerk Maxwell
(1831-1879)

A fény elektromágneses hullám.
Terjedési sebessége:

$$c = \lambda f$$

$$c_{\text{vákuum}} = 2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

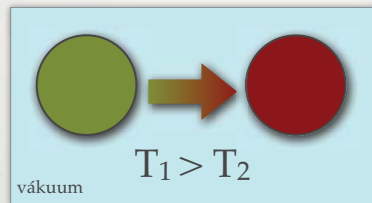
AZ ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM



N.B.: 1) "spektrum" = függvény (EM sugárzás intenzitása az energia függvényében)
2) "elektromágneses spektrum" = sugárzás fajtái az energia függvényében

“FEKETETEST” SUGÁRZÁS (TERMÍKUS SUGÁRZÁS)

A fénykeltés egyik mechanizmusa (a lumineszcencia mellett)



Hőcsere:
Hőmérséklet
kiegyenlítődés



Magas hőmérsékletű
test fénykibocsátása

KIRCHOFF SUGÁRZÁSI TÖRVÉNYE

A tárgyak nemcsak sugároznak, hanem a sugárzást el is nyelik (abszorbeálnak)!

Kisugárzott felületi teljesítmény és abszorpció
tényező aránya konstans



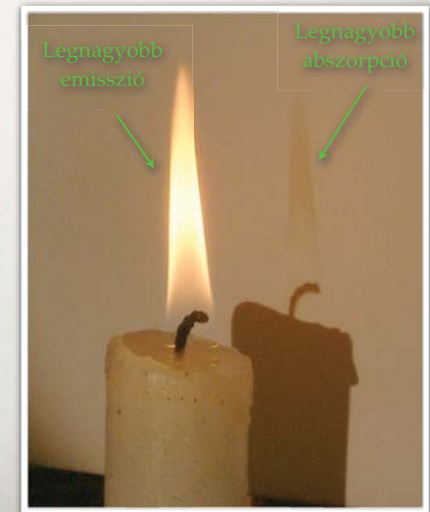
Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

$$\frac{M_{\lambda i}}{\alpha_{\lambda i}} = \frac{M_{\lambda j}}{\alpha_{\lambda j}}$$

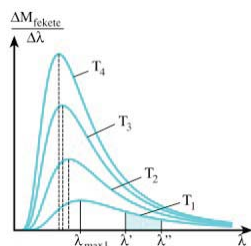
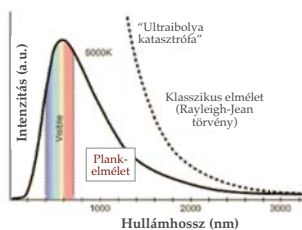
Abszolút fekete testre (BB):

$$\alpha_{\lambda BB} = 1$$

(BB = “black body”)



FEKETETEST SUGÁRZÁS



Stefan-Boltzmann
törvény:
 $M_{BB}(T) = \sigma T^4$



Jozef Stefan
(1835-1893)



Ludwig Eduard Boltzmann
(1844-1906)

Wien-féle eltolódási
törvény:
 $\lambda_{\max} T = \text{const}$



Wilhelm Wien
(1864-1928)

Planck-féle sugárzási
törvény:
 $E = hf$



Max Karl Ernst Ludwig Planck
(1858-1947)

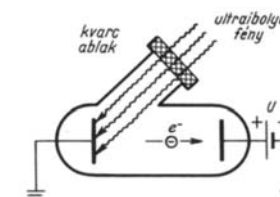
FOTOELEKTROMOS HATÁS: MEGFIGYELÉS

Hallwachs-effektus:

UV fény hatására negatív töltések távoznak
a megvilágított fémfelületről



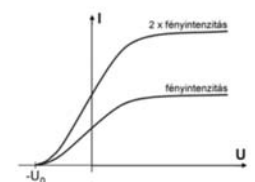
Wilhelm Hallwachs
(1859-1922)



Mérések, megállapítások



Philipp Lenard/
Lénárd Fülöp
(1862-1947)



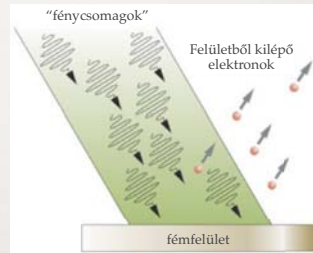
- Elektron emisszió: besugárzást azonnal követi
- Elektron emisszió csak nagyfrekvenciájú (pl. kék, UV) fényben
- Nincs elektron emisszió alacsony frekvenciájú (pl. vörös) fényben
- Fotoelektromos áram: fényintenzitás függvénye
- Fotoelektromos áram: nem függ a fény színétől

FOTOELEKTROMOS HATÁS: MAGYARÁZAT

1905: "Annus mirabilis"
• fotoelektromos hatás
• diffúzió
• speciális relativitáselmélet



Albert Einstein
(1879-1955)



$$E_{kin} = hf - W_{ex}$$

E_{kin} = kilépő elektron mozgási energiája
 h = Planck állandó ($6.62 \cdot 10^{-34}$ Js)
 f = frekvencia
 hf = fényenergia = fény kvantum, "foton"
 W_{ex} = kilépési munka

Foton:
• fénysebességgel (c) terjed vákuumban
• impulzus rendelhető hozzá
• nyugalmi tömege 0.

A FÉNY EGYSZERRE HULLÁM ÉS RÉSZECSCKE



Christiaan Huygens
(1629-1695)



Sir Isaac Newton
(1643-1727)

Hullám

Részecske

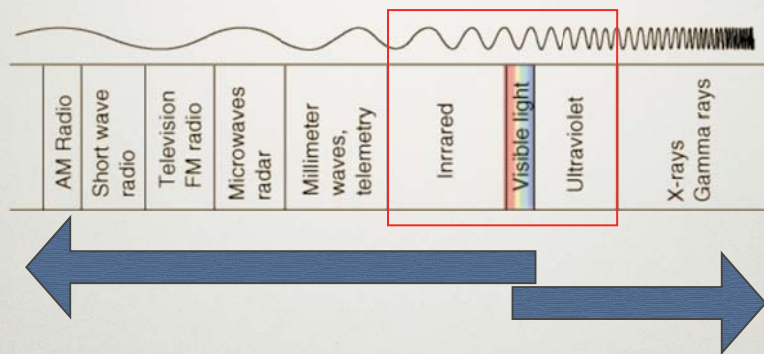
Terjedés közben

- Diffrakció
- Interferencia
- Polarizáció

Kölcsönhatáskor

- Fotoelektromos hatás
- Fénytörés
- Gerjesztés, Ionizáció
- Compton-szórás
- Párfeltés

A LÁTHATÓ FÉNY AZ ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM KESKENY RÉSE



Nagy hullámhosszak:
hullámtermészet dominál

Kis hullámhosszak:
részecske természet dominál

ANYAGHULLÁMOK AZ ELEKTRON MINT HULLÁM

Einstein: tömeg-energia ekvivalencia
 $E = mc^2$



Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7th duc
de Broglie (1892-1987)

Részecske (foton is!) impulzusa:
 $P = \frac{h}{\lambda}$

Planck: sugárzási törvény
 $E = hf$

Maxwell: fény terjedési sebessége
 $c = \lambda f$

Részecske hullámhossza ("de Broglie hullámhossz"):
 $\lambda = \frac{h}{mv}$

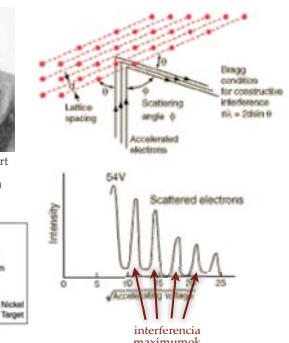
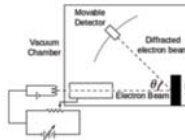
Davisson-Germer kísérlet



Clinton Joseph Davisson
(1881-1958)



Lester Halbert Germer
(1896-1971)



Az elektron hullám!

Miért nem érzékeljük makroszkopikus testek hullámtermészetét (pl. puskagolyó)?



Puskagolyó: $m=1$ g, $v=1$ kms⁻¹
esetén $\lambda = 6 \times 10^{-34}$ m!!

ALKALMAZÁSOK I.

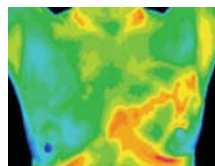
Feketetest-sugárzás: Thermográfia, infradiagnosztika



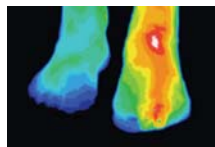
Nem abszorbeáló rétegeten "át lehet látni".



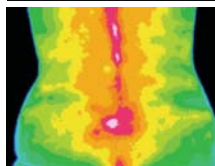
Reptéri termográfia sertés influenza pandémia során



Emlőszűrés, emlőcarcinoma



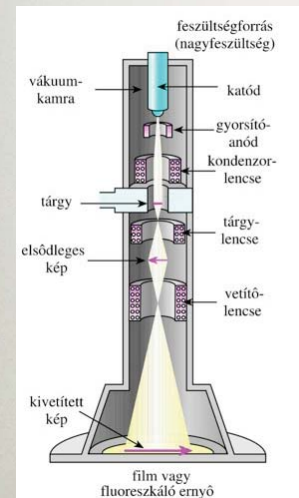
Gyulladás



Krónikus musculoskeletális stressz (fájdalom)

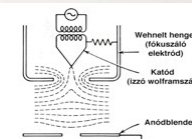
ALKALMAZÁSOK II.

Anyaghullámok: Elektronmikroszkóp

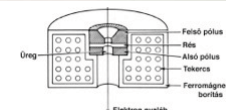


Transmissziós elektronmikroszkóp (TEM)

Sugárforrás: elektronágyú



Fókuszálás: elektronnyaláb kitérítése mágneslencsével



$$F = eBV_e \sin \alpha$$

F =elektronra ható erő; e =elektron töltése; B =mágneses térerő; V_e =elektron sebessége; α =optikai tengely és a mágneses tér iránya által bezárt szög

Feloldóképesség:
$$d = \frac{\lambda}{\alpha}$$

d =legkisebb feloldott távolság
 λ ="de Broglie" hullámhossz
 α =optikai tengely és a mágneses tér iránya által bezárt szög

de Broglie hullámhossz alapján elméleti $d \sim 0,005 \text{ nm}$ ($\sim 5 \text{ pm}$)

ALKALMAZÁSOK III.

Fotoelektromos hatás: fotodetektálás, fotocella, CCD, stb, stb.....

Fénydetektálás, képrögzítés, CCD kamera



Fényenergia összegyűjtése, átalakítása



Fényerősítés



ÖSSZEFOGLALÁS

$$c = \lambda f \quad E = hf \quad \lambda = \frac{h}{mv}$$