

ORVOSI BIOFIZIKA

“A FÉNY BIOFIZIKÁJA”

KELLERMAYER MIKLÓS

A TUDOMÁNY KÜLDETÉSE

A *valóság* minél pontosabb megismerése - a tudományos *igazságok* feltárása

Jó ez? Fontos ez? Igen(!):

“A valóság sokkal szebb, mint azt bárki elképzelhetné...!”
Richard P. Feynman (Nobel-díjas)

Megközelítési módjaink:

1. Tudományos lelkiület:

- Rácsodálkozás (kíváncsiság)
- Kritikus gondolkodás (mások és *önmagunk* kritikája)
- Kérdezés és kétkedés

2. Tudományos módszer:

- Megfigyelés
- Megfontolás
- Hipotézisfelállítás
- *Kísérlet*

„bármely tudományos igazság próbaköve a *kísérlet*”

ORVOSI BIOFIZIKA

Módszertana:

Az “élő” folyamatokat

- 1) egyszerűsíti
- 2) számszerűsíti

Feladatai:

- 1) Orvosi és biológiai jelenségek, folyamatok *fizikai* leírása
- 2) *Fizikai* alapú orvosi módszerek megértése

BIOLÓGIAI JELENSÉG FIZIKAI LEÍRÁSA



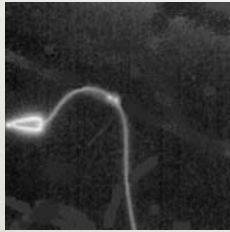
Kérdések:

1. Mekkora erőt (F) kell kifejteni egy spermaticitának ahhoz, hogy adott (v) sebességgel mozogjon?
2. Hogyan történik mindez (mi a pontos mechanizmus)? Predikciós erejű modell építése.

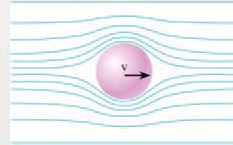
A SPERMATOCITA ÁLTAL ÉRZÉKELT KÖZEGELLENÁLLÁS

Mekkora erőt (F) kell kifejteni egy spermaticitának ahhoz, hogy adott (v) sebességgel mozogjon?

Spermium modell:
kör keresztmetszetű tárgy



Stokes törvény:



$$F = \gamma = 6\pi\eta v$$

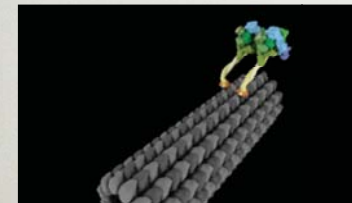
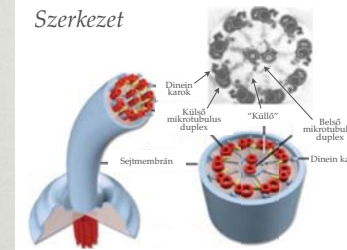
$$\gamma = 6\pi\eta = 6 \cdot 1.6 \times 10^{-6} (m) \cdot \pi \cdot 10^{-3} (Pas) = 3 \times 10^{-8} Ns/m$$

$$F = \gamma = 3 \times 10^{-8} Ns/m \cdot 5 \times 10^{-5} m/s = 1.5 \times 10^{-12} N = 1.5 pN$$

SPERMATOCITA MOTILITÁS MOLEKULÁRIS MECHANIZMUSA

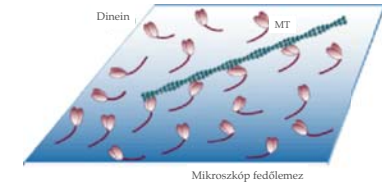
Hogyan történik mindez (mi a pontos mechanizmus)? Predikciós erejű modell építése.

Szerkezet



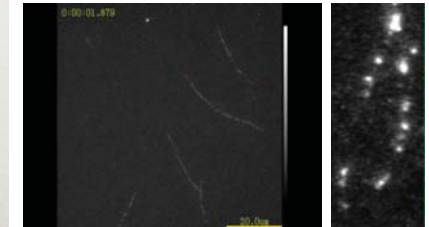
“Részeg tengerész” lépegetési mechanizmus

Biomolekuláris funkcionális modell:
“In vitro motilitási próba”



Mikroszkóp fedőlemez

Fluoreszcencia videomikroszkópia



Mikrotubulus mozog a dineinen

Dinein mozog a mikrotubuluson

FÉNY: MINDENÜTT



H-atom emissziós spektruma



Orion Nebula



Forrás → Sugárzás → Besugárzott test

A FÉNY BIOFIZIKÁJA

- A fény mint hullám. Hullámjelenségek.
- Elektromágneses sugárzás, spektrum.
- Feketetest-sugárzás, Planck-elmélet.
- A fény mint részecske. Fényelektromos hatás.
- Fény kettős természete.
- Anyaghullámok, az elektron mint hullám.
- Alkalmazások.

A HULLÁMOK FORRÁSA: REZGŐMOZGÁS

Példa:

Tacoma Narrows Bridge



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 amplitúdó eleinte 0,5 m, majd egy tartókábel
elszakadása után akár 9 m!
Összeomlás: 1940. november 7.

(A jelenség magyarázata)



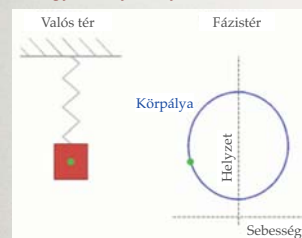
Kármán-féle örvények
(Szélben, a híd élén keletkeznek. Ha nem
válnak le a felületről, rezgés lép fel.)



Kármán Tódor
(Theodore von Kármán)
1881-1963

HARMONIKUS REZGŐMOZGÁS

Egyensúlyi helyzetéből kitérített rendszerre visszatérítő erő hat (pl. rugóra függesztett tömeg).



+Kitérés
↑
Egyensúlyi helyzet
↓
-Kitérés



sinus függvény

Kitérés vs. idő

$$y = R \sin \varphi$$

Mivel $\varphi = \omega t$: $y = R \sin(\omega t)$

Ha a kiindulási fáziszög (φ_0) nem zérus: $y = R \sin(\omega t + \varphi_0)$

Mivel a szögsebesség (ω) a periódusidő (T) alatt megtett teljes kör (2π): $y = R \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right)$

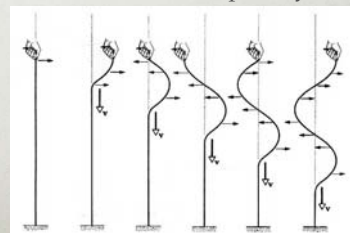
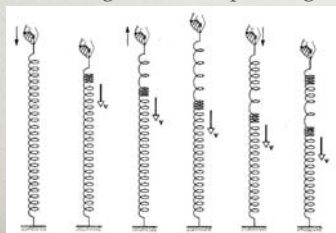
A tovaterjedő hullámmozgás fontos paraméterei:

- Periódusidő (T)
- Frekvencia ($f=1/T$)
- Terjedési sebesség (v, c)
- Hullámhossz (λ): egy periódusidő alatt megtett távolság:

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

HULLÁMOK TÍPUSAI

- Keletkezés **mechanizmusa** szerint:
 1. Mechanikai: rugalmas deformáció, rugalmas közegben terjed (pl. hang)
 2. Elektromágneses: elektromos zavar, vákuumban (is) terjed (pl. fény)
- Terjedés **dimenziója** szerint:
 1. egydimenziós (pl. megpendített húr)
 2. felületi hullámok (pl. síkhullám vízfelületen)
 3. térbeli hullámok (pl. hang)
- A rezgés és terjedés relatív **irányai** szerint:
 1. Longitudinális (pl. hang)
 2. Transzverzális (pl. fény)



HULLÁMJELENSÉGEK I. DIFFRAKCIÓ, HULLÁMELHAJLÁS

Huygens-Fresnel elv:

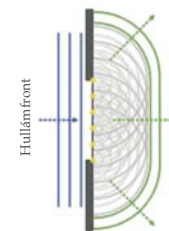
egy hullámfront minden pontja további hullámok forrása



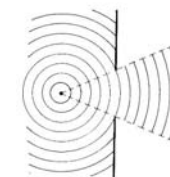
Christiaan Huygens
(1629-1695)



Augustin-Jean Fresnel
(1788-1827)

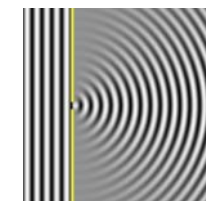


A hullám megjelenik az "árnyékos" területen is.



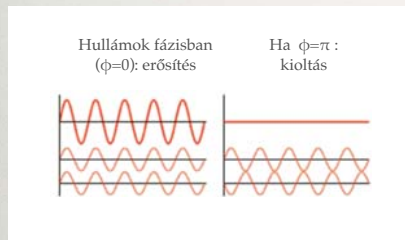
Hullámhossznál sokkal nagyobb rés

Hullámhossznál kisebb rés

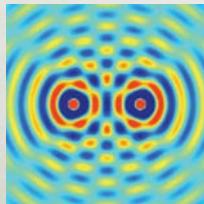


HULLÁMJELENSÉGEK II. INTERFERENCIA

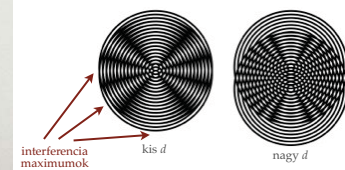
Alapja: szuperpozíció elve



Két, pontszerű forrásból
származó hullámok
interferenciája



Kialakuló **interferencia mintázat** a pontszerű
rések közötti távolságtól (d) függ



HULLÁMJELENSÉGEK III. POLARIZÁCIÓ

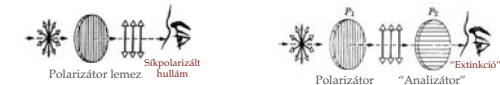
Polarizáció: kitüntetett irányú rezgés
Kettős törés: anizotróp terjedési sebesség
Csak a **tranzverzális** hullámok polarizálhatók.



Mechanikai hullámok
polarizálása



Elektromágneses
hullámok polarizálása

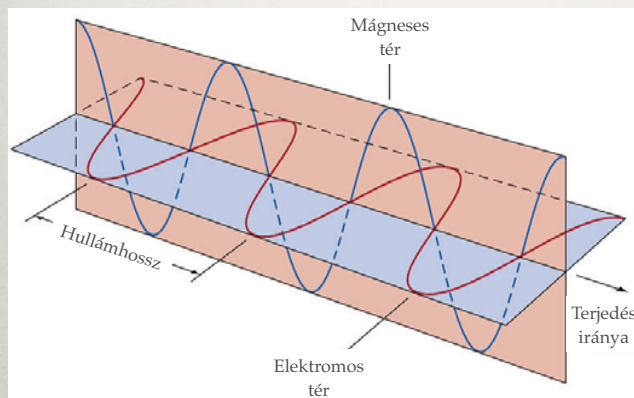


Polarizáció illusztrálása a
terjedési irányból nézve:



A FÉNY: ELEKTROMÁGNESES HULLÁM

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



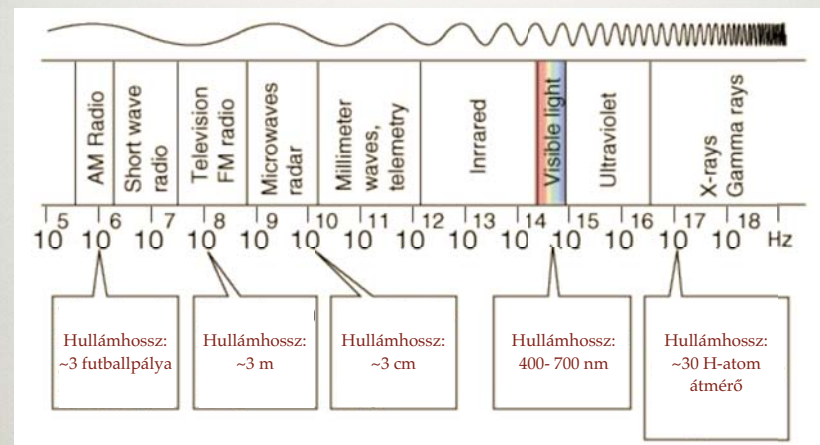
James Clerk Maxwell
(1831-1879)

A fény elektromágneses hullám.
Terjedési sebessége:

$$c = \lambda f$$

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

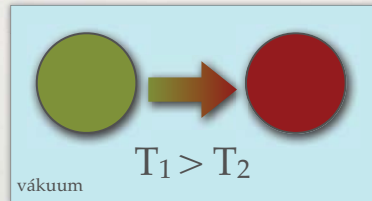
AZ ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM



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

A FÉNY KELTÉSE: “FEKETETEST” (TERMÍKUS) SUGÁRZÁS

A termikus sugárzás a fénykeltés egyik mechanizmusa
(a lumineszcencia mellett, l. később)



Hőcsere:
Hőmérséklet
kiegyenlítődés



- Magas hőmérsékletű testek fényt bocsátanak ki (emittálnak).
- Minél magasabb a test hőmérséklete, annál rövidebb hullámhosszak jelennek meg az emissziós spektrumában.

KIRCHOFF SUGÁRZÁSI TÖRVÉNYE

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

Kisugárzott felületi teljesítmény (M) és
abszorpciós tényező (α) aránya konstans



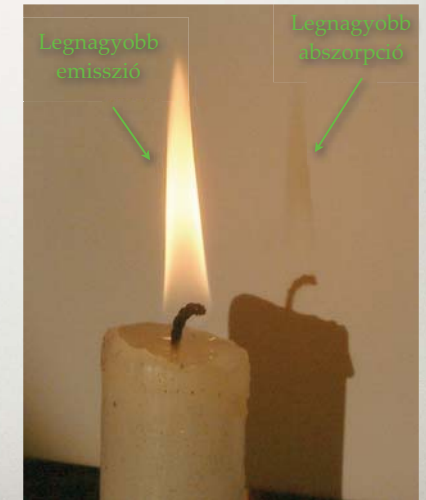
Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

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

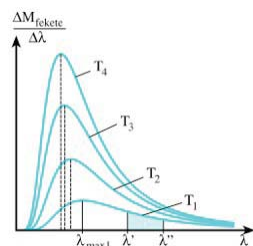
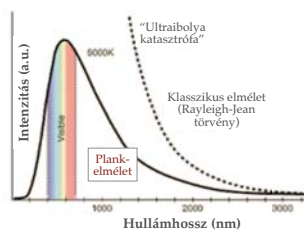
Abszolút fekete testre (BB*):

$$\alpha_{\lambda BB} = 1 \quad (\text{"BB" = "black body"})$$

- Vagyis az abszolút fekete test minden reá eső sugárzást elnyel ("semmit" nem ver vissza).
- Az abszolút fekete testen ezért a hőmérsékletfüggő emisszió ("feketetest sugárzás") ideálisan vizsgálható.



FEKETETEST SUGÁRZÁS TULAJDONSÁGAI ÉS A LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK



Stefan-Boltzmann törvény:

$$M_{BB}(T) = \sigma T^4$$

M_{BB} = kisugárzott felületi teljesítmény,
emissziós spektrum alatti terület.



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:

$$E = hf$$

h = hatáskvantum, Planck-
állandó (6.626×10^{-34} Js).

Értelme: az energia
csomagokban (kvantumokban)
nyelődik el és emittálódik



Max Karl Ernst Ludwig Planck
(1858-1947)

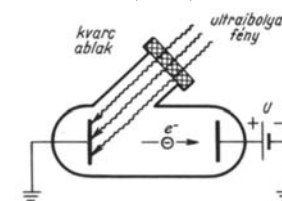
MI TÖRTÉNIK, HA EGY TESTET FÉNNYEL VILÁGÍTUNK MEG? FOTOELEKTROMOS HATÁS: MEGFIGYELÉS

Hallwachs-effektus:

UV fény hatására negatív töltések távoznak
a megvilágított fémfelületről



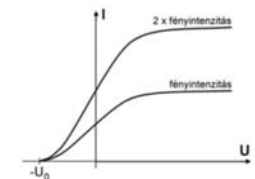
Wilhelm Hallwachs
(1859-1922)



Mérések, megállapítások



Philipp Lenard/
Lénárd Fülöp
(1862-1947)



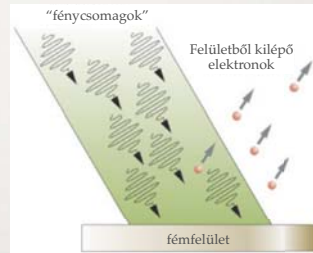
- Elektron emisszió: besugárzást azonnal követi
- Elektron emisszió csak nagyfrekvenciájú (pl. kék, UV) fényben
- Nincs elektron emisszió alacsony frekvenciájú (pl. vörös) fényben
- Fotoelektromos áram: fényintenzitás függvénye
- Fotoelektromos áram: nem függ a fény színétől

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

HA A FÉNY LEHET RÉSZECSCKE, EGY RÉSZECSCKE LEHET HULLÁM?

ANYAGHULLÁMOK - AZ ELEKTRON MINT HULLÁM

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



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

$$mc^2 = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

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

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

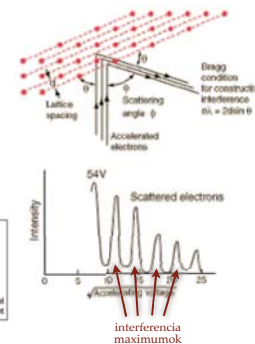
Davisson-Germer kísérlet



Clinton Joseph
Davisson
(1881-1958)



Lester Halbert
Germer
(1896-1971)



Az elektron hullám!



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

ALKALMAZÁSOK I.

Feketetest-sugárzás: Thermográfia, infradiagnosztika



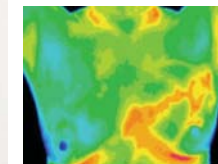
Nem
abszorbeáló
rétegeten "át
lehet látni".



93.4
90
85
80
75
73.6



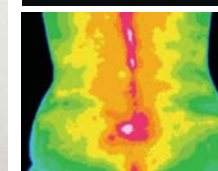
Reptéri
termográfia
sertés influenza
pandémia során



Emlőszűrés,
emlőcarcinoma



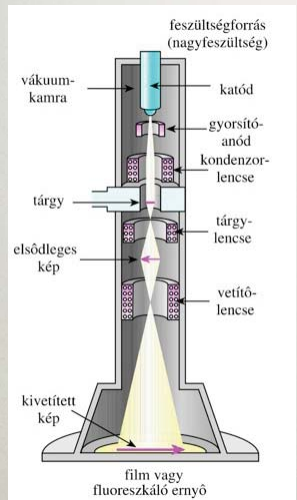
Gyulladás



Krónikus
musculoskeletal
stressz (fájdalom)

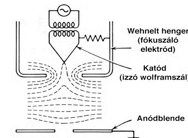
ALKALMAZÁSOK II.

Anyaghullámok: Elektronmikroszkóp

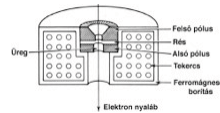


Transmissziós elektronmikroszkóp (TEM)

Sugárforrás:
elektronágyú



Fókuszálás:
elektronnyaláb kitérítése
mágnestlencsével



$$F = eBV_e \sin \alpha$$

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 $d \sim 0,005 \text{ nm}$ ($=5 \text{ pm}$)

ALKALMAZÁSOK III.

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

Fénydetektálás,
képrögzítés, CCD kamera



Fényenergia összegyűjtése,
átalakítása



Fényerősítés

