

Mai kérdés:

Mi a különbség az elektron ionizációja és a gerjesztése között?

Elektromágneses sugárzások és biológiai rendszerek

Ionizáló és nem-ionizáló sugárzások

Nem ionizáló sugárzások: Fény (UV-VIS-IR)

– **Biológiai hatások**

– **Fényforrások - folytatás-1**

Dr. Fidy Judit
egyetemi tanár
2017 április 19

Az előző előadás folytatása: - fényforrások

- 1. Spontán fotonemisszió gerjesztett elektronállapotból:
Lumineszcencia
- 2. Hőmérsékleti sugárzás
- 3. Fény-emisszió indukált emisszió révén: LASER
- 4. LED : elektronok és lyukak elektromos tér által indukált rekombinációja szilárd (kristályos) félvezető diódákban

Fényforrások-1. Spontán fényemisszió: Lumineszcencia

Jellemző paraméterek (ismétlés)

fényintenzitás $J \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{\Delta E}{\Delta t * \Delta A}$

- **Az emissziós spektrum**

$$F = \frac{\Delta I}{\Delta \lambda}$$

Stokes szabály
Kasha szabály
Sávós, vagy vonalas

$\lambda(nm)$

- **A gerjesztett állapot élettartama τ**

- **Az emisszió kvantumhatásfoka: az elnyelt és emittált fotonok számának aránya**

Az emissziós spektrum görbe alatti területe

$$\Phi_{fluo} = \frac{N_{fluo}}{N_{absz}} = \frac{k_{fluo}}{k_{fluo} + k_{belső} + k_{külső}} = k_{fluo} * \tau_{fluo, mért} \approx \int F(\nu) d\nu \quad \nu = \frac{1}{\lambda}$$

A gerjesztett elektron egyéb energialeadási reakciósebességei

Fényforrások-1. Spontán fényemisszió: Lumineszcencia

Sokféle lehetőség a spontán emissziót megelőző gerjesztett állapot létrehozására

- Fény foton elnyelése: **fotolumineszcencia**
- Kémiai reakció energiája: **kemolumineszcencia** - **biolumineszcencia**
- Ütközés elektromos térrel gyorsított töltött részecskékkel: **elektrolumineszcencia**
- Mechanikai deformáció energiája: **tribolumineszcencia**
- Termikus gerjesztés (B.eloszlás): **termolumineszcencia**

Mégis: a természetben kevés lumineszcens molekulát találunk --- MIÉRT?

$$\Phi_F = \frac{N_{fluo}}{N_{abs}} = \frac{k_{fluo}}{k_{fluo} + k_{vibr} + k_{kölcs.h}} \approx \int F(f) H f = J_{fluo, sáv}$$

↑
Fluoreszcencia
Kvantum-
hatásfok

k: a relaxáció sebessége
(foton-emisszió, vibrációs állapotok gerjesztése,
kölsónhatás más molekulákkal)

$$\tau = \frac{\Phi}{k_{fluo}} = \frac{1}{k_{fluo} + k_{vibr} + k_{kölcs.h}}$$

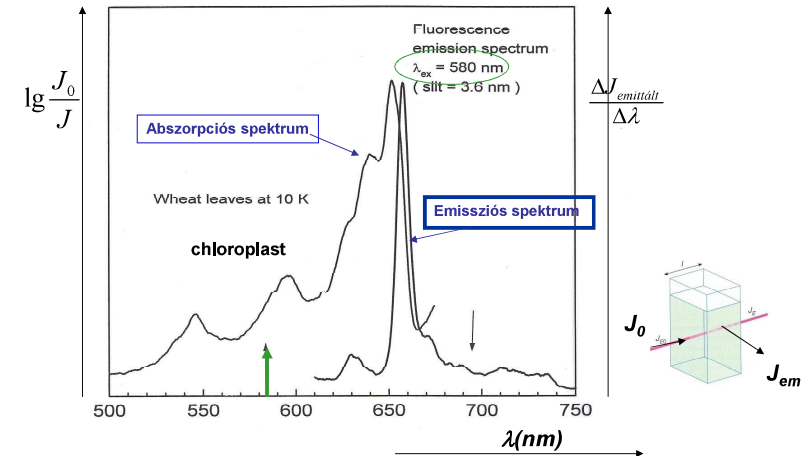
↑
élettartam

A legtöbb molekula nem fényemisszióval
relaxál gerjesztett állapotból

Emlékeztető:

Emissziós és abszorpciós spektrum: fotolumineszcencia

Maximumok normálva



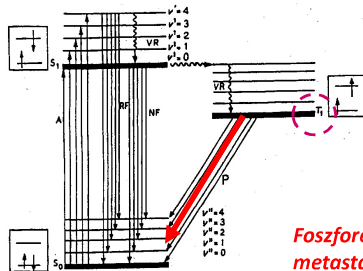
Lumineszcencia

Fluoreszcencia és Foszforeszcencia

Megkülönböztetés az emittáló elektronállapot alapján.

Jablonski – diagram

Az S_1 állapotú gerjesztett elektron spinátfordulással átmehet a T_1 gerjesztett állapotba, ahonnan az S_0 alapállapotba visszatérés tiltott



T_1 : **triplett állapot**
-**alacsonyabb energiájú,**
-**hosszú élettartamú**
- **metastabil** –
gerjesztett állapot

Foszforeszcencia: spontán fotonemisszió
metastabil (T_1) állapotból

Lumineszcencia

Fluoreszcencia és Foszforeszcencia

Fluoreszcencia:

-Megengedett elektron-átmenetből ($S_1 \rightarrow S_0$) származó spontán fényemisszió

-Élettartama rövid, $\tau \sim 1 - 10$ ns \leftrightarrow gerjesztési idő $\sim 10^{-3}$ ns

-Karakterisztikus fotonenergia(tartomány) –szín jellemzi

- Többféle gerjesztési átmenettel is gerjeszthető

Lumineszcencia

Fluoreszcencia és Foszforeszcencia

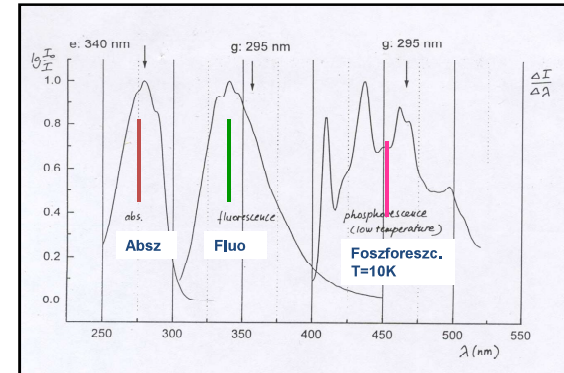
Foszforeszcencia:

- Spontán fényemisszió metastabil átmenetből
- Az emittáló nívó élettartama hosszú $\tau \sim \text{ms, sec...}$ **metastabil állapot**
- Az emittált fény fotonenergiája kisebb mint a fluoreszcenciáé
- Hosszú élettartam -> lehetőség a környezeti energialeadásra emissziós intenzitás igen kicsi -> orvosi alkalmazása csekély

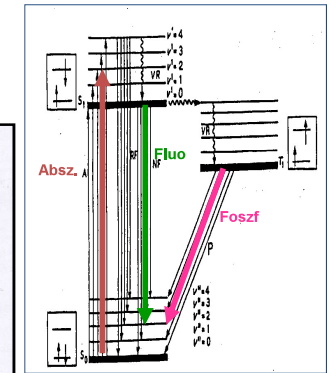
Lumineszcencia

Fluoreszcencia és Foszforeszcencia spektrumok összehasonlítása

természetesen lumineszkáló aminosav
Tryptofán - egy fehérjében



Stokes-féle eltolódás



Vibrációs relaxáció

$$\lambda_{\text{foszf}} > \lambda_{\text{fluo}} > \lambda_{\text{absz}}$$

Fluoreszcencia alkalmazások

- Fluoreszcens jelzésen alapuló mikroszkópiai és diagnosztikai módszerek – megalapozó szempontok

1. Igen kevés molekula fluoreszkál – a jelző emissziója sötét háttérrel bír
2. Különböző jelzők jelei a gerjesztő fény és az emisszió szelektivitása alapján elkülöníthetők
3. Az emisszió többféle módon is gerjeszthető, így a környezet elnyelése kivédhető
4. Szelektíven kötődő jelző molekulák szintetizálhatók.
5. Az emisszió a legkülső elektronpályák tulajdonságaitól függ – érzékenység a környezetre: pH, vizes közeg, elektromos tér, ionok..... kimutatása
6. Toxicitás kivédhető – in vivo alkalmazások is lézeres és száloptikás gerjesztéssel
7. Érzékenység

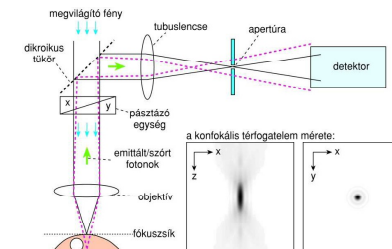
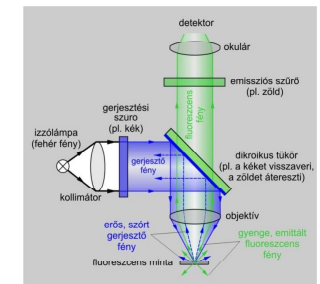
Fluoreszcencia-mikroszkópia – élettudományokban és diagnosztikai alkalmazások

Alapja: a szövetekben igen kevés fluoreszkáló molekula van → szelektív fluoreszcens festés után a kötődés helyét fluoreszcencia alapján leképezhetjük



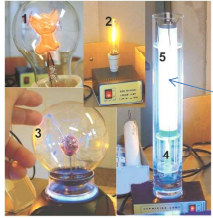
A gén-expresszió egy állapota: az RNS-re kötődő fehérjék zöld fluoreszcenciája alapján az RNS kirajzolódik.

Konfokális mikroszkóp
Konjugált fókuszálás



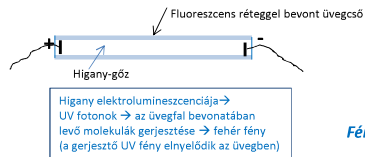
Konfokális optika →
Mélységbeli (z) feloldás
Szkenelés → rétegek leképezése

- Fényforrások a mindennapokban



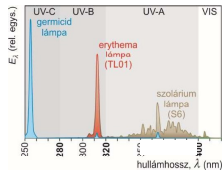
Fénycsövek: elektrolumineszcencia és fotolumineszcencia kombinációja

„F-tubes” –fénycső a Nap spektrumát célozza meg



Fénycső kompakt formája

Speciális lámpák/fényforrások – az emisszió hullámhossztartománya alapján



Különböző nyomású Hg-gőz lámpák elektrolumineszcenciája

- alacsony nyomás: Germicid lámpa – $\lambda = 254 \text{ nm}$ → DNS-mutációk, törések bacteria → baktérium-ölő hatás: mikrobiológiai laboratóriumok sterilizálása
- közepes nyomás: Erythema lámpa – $\lambda = 280 - 320$ $\lambda \sim 310 \text{ nm}$ → psoriasis, vitiligo kezelése
- nagy nyomás: Solarium lámpák, fényforrások fotoszenzibilizátorok gerjesztéséhez → dermatológia

A röntgensugárzás természete, forrása és biológiai hatásai

Kitekintés: γ -sugárzás

Elektromágneses sugárzások és biológiai rendszerek

Ionizáló és nem-ionizáló sugárzások

Ionizáló sugárzások:

– Röntgensugárzás

– (γ -sugárzás)

Az orvosi diagnosztikai alkalmazások szempontjai

Terápiát nem tárgyaljuk - kimarad:

- nagy energiájú rtg sugárzás
- nagy energiájú részecskesugárzások

Eddig: fény

Következik: röntgensugárzás

	fény	röntgensugárzás (rtg. cső)
Fotonenergia	1.5 – 3 eV	20 – 300 keV
Primér hatás	e^- gerjesztés	e^- ionizáció
Elnyelődés valószínűsége	diszkrét fotonenergiáknál	energia folytonos függvénye



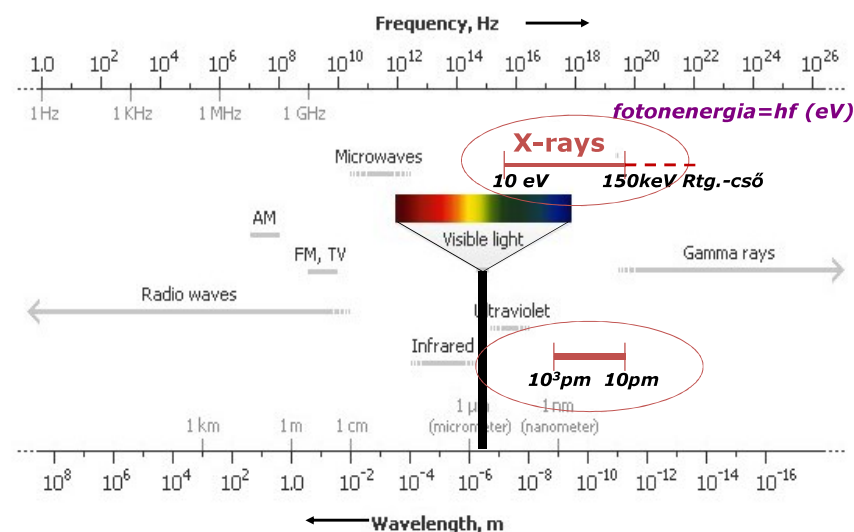
Figure 4.10 Two radiographs taken by Röntgen. (a) The hand of Mrs. Röntgen. (The Bettmann Archive/Bettmann Newsphotos.) (b) Radiograph of a fully clothed man, showing not only the man's skeleton but also the keys in his pockets, the nails of his shoes, and the metal clasps of his garters. (Deutsches Museum, München.)



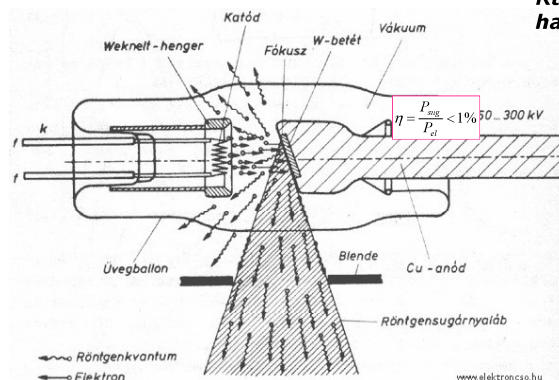
Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923)

Fény – **X-rays** elektromágneses hullámok

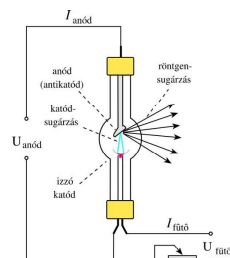
Logaritmus skála $10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nanometer}$



Röntgensugárzás keltése röntgensővel



Rtg. Sug. keletkezik, ha nagy sebességű elektronok nagy rendszámú anyagban lefékeződnek.



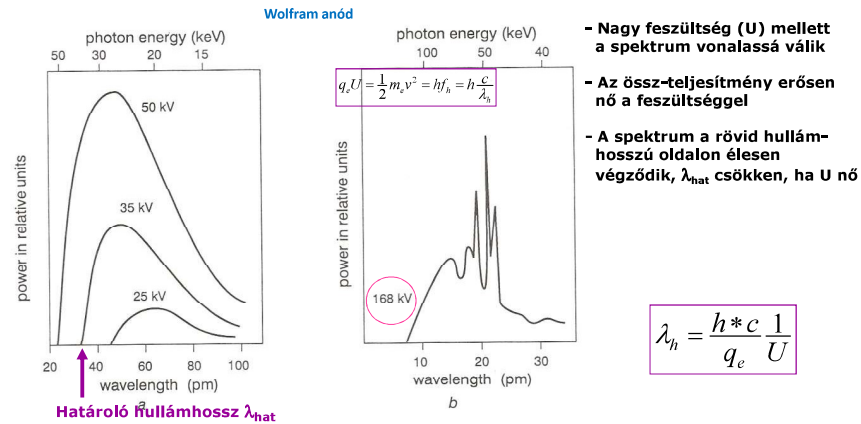
Az anódban nagy a hőfejlődés

Röntgensövek - forgó anód
- hűtés



A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Emissziós spektrumok növekvő gyorsító feszültség mellett



A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Kétféle mechanizmus

1. Fékezési röntgensugárzás (Brehmstrahlung)

- minden (nagy) U -nál
- spektruma folytonos
- teljes kisugárzott teljesítmény:

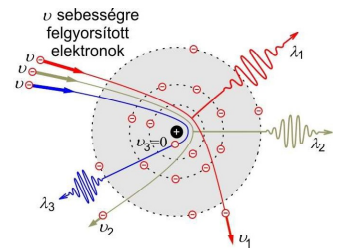
$$\lambda_{\text{ph}} = \frac{h * c}{q_e} \frac{1}{U}$$

$$P_{\text{rfg}} = \text{konst} * U^2 * I * Z$$

$$1.1 * 10^{-9} \text{ V}^{-1}$$

Anód anyagának rendszáma

- ezt a sugárzást használják a röntgendiagnosztikában

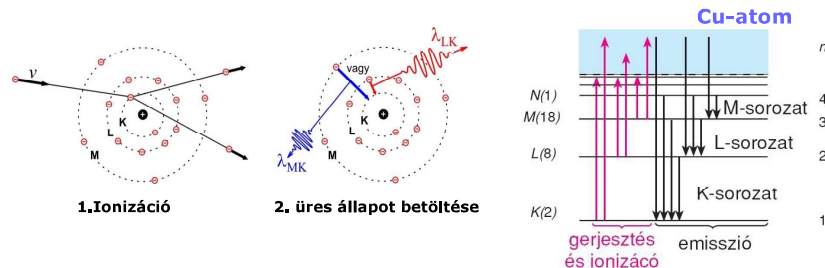


A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

Kétféle mechanizmus

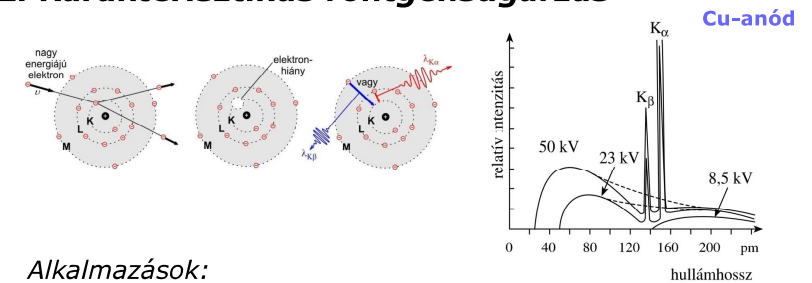
2. Karakterisztikus röntgensugárzás

- csak elég nagy U felett
- spektruma vonalas, az anód anyagára jellemző



A röntgensugárzás keletkezésének mechanizmusai

2. Karakterisztikus röntgensugárzás



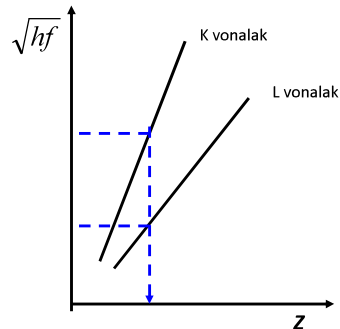
Alkalmazások:

- Molibdén anód vonalai emlődiagnosztikában
- vonalak fotonenergiája alapján kémiai elemzés

Karakterisztikus röntgensugárzás alkalmazásai

1. Kémiai analízis

- igen kis mennyiségből elemzés
- a minta az anód szerepében



Kvalitatív analízis:

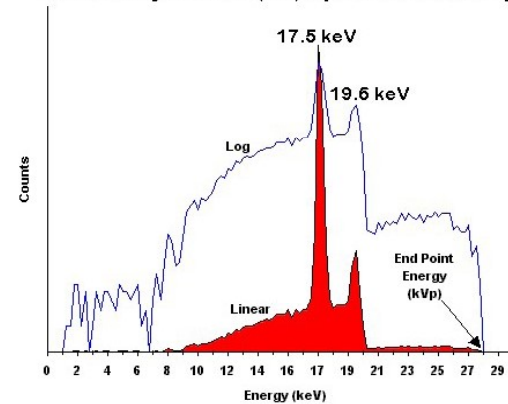
Spektrum vonalak energiái → target rendszáma

Kriminológia

2. Mo anód karakterisztikus röntgensugárzása

Mammográfia ~17.5 keV monokromatikus sugárzás

Direct Molybdenum (Mo) Spectrum at 28 kVp



Röntgendiagnosztikai alkalmazások (fékezési sugárzás)

A diagnosztikai alkalmazások a rtg sugárzás szöveti elnyelődésén alapulnak

Érvényes az exponenciális abszorpció-törvény

$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

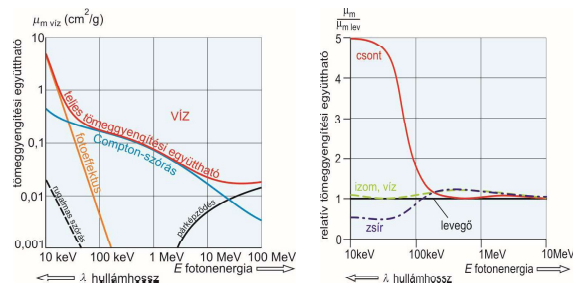
Abszorpció együttható

Tömeggyengítési együttható

MINŐSÉGI JELLEMZŐ

Abszorbens anyaga

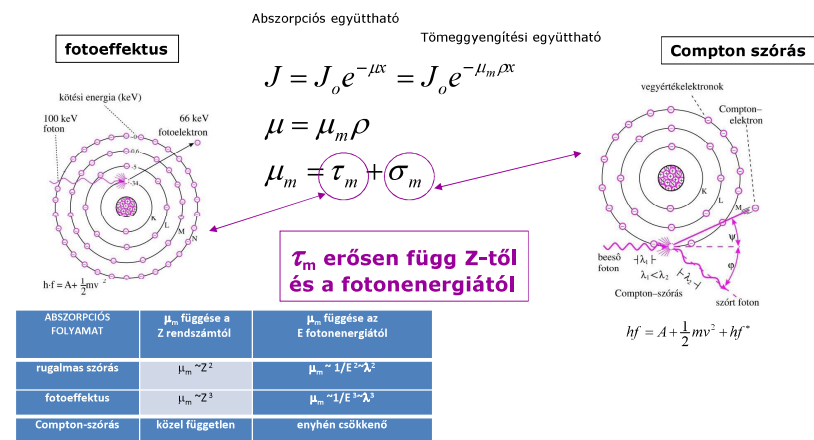
Sugárzás fotonenergiája



diagnosztika → terápia

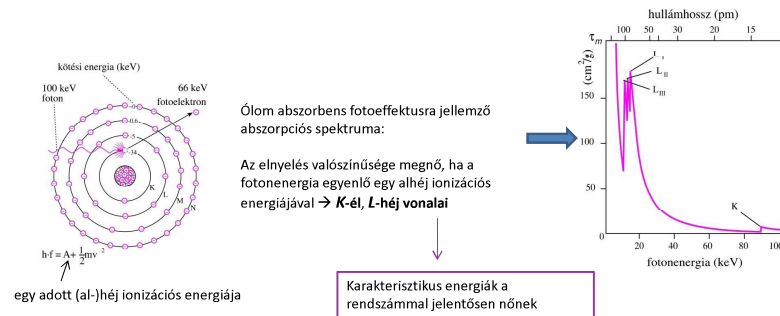
Röntgendiagnosztika alapjai

„Ionizáló” sugárzás: az elnyelt foton ionizál
Kétféle mechanizmus a fotonenergiától függő súllyal.



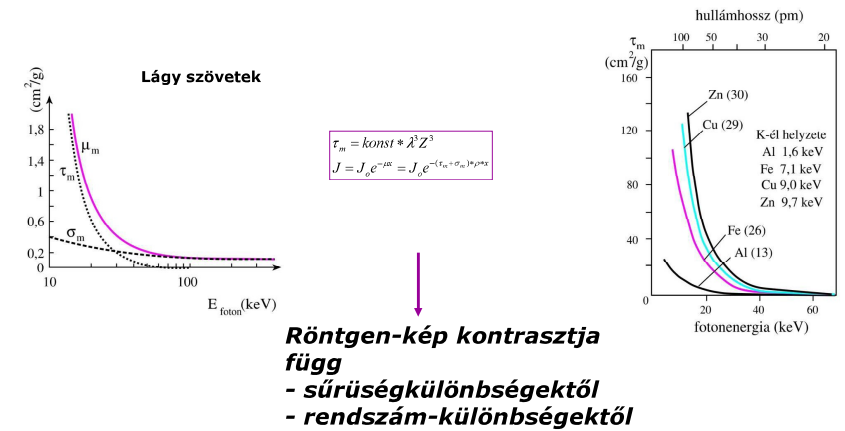
A rtg sugárzás elnyelődése

A fotoeffektus karakterisztikus vonalai

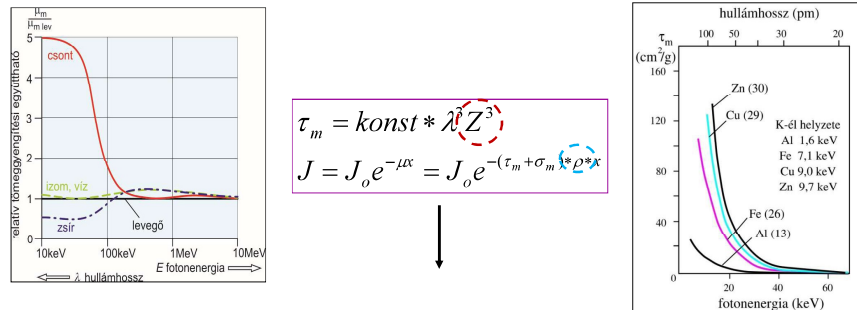


A röntgensugárzás alkalmazásai

Röntgendiagnosztika alapjai



Rtg-diagnosztikai szempontok - kontrasztanyagok

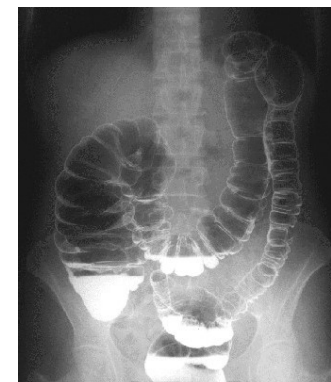


$$Z_{eff} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i Z_i^3}$$

móltört

közeg	Z_{eff}	ρ (g/cm ³)
levegő	7,3	$1,3 \cdot 10^{-3}$
víz	7,7	1
lágyszövet	7,4	1
csontszövet	13,8	1,7-2

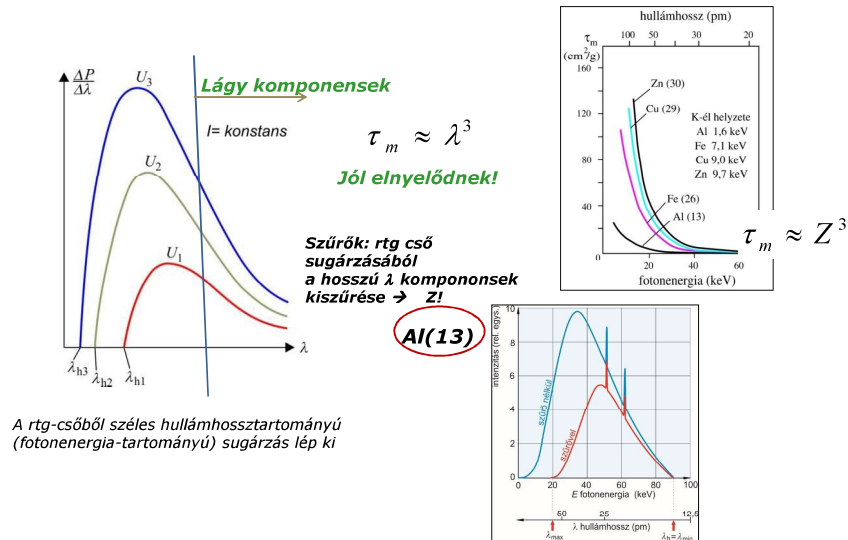
Példa kontrasztanyag használatára



Vastagbél felvétel negatív és pozitív kontrasztanyag használatával

Ablakozás

Rtg-diagnosztikai szempontok – lágy sugárzási komponensek kiszűrése



Rtg-diagnosztikai szempontok – a digitalizálás jelentősége: DSA

DSA: Digital Subtraction Angiography

Menete:

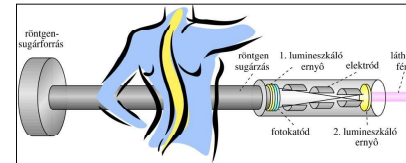
1. Hagyományos rtg felvétel -> digitalizálás, tárolás
2. Kontrasztanyag beadása (beteg nem mozdul)
3. Második felvétel kontrasztanyaggal -> digitalizálás, tárolás
4. Pixelenként a két kép különbsége -> megjelenítés



Rtg-diagnosztikai szempontok – a sugárterhelés csökkentése, digitalizálás

Rtg-kép erősítő

- optikai kép, de kicsinyített
- sugárterhelés csökken

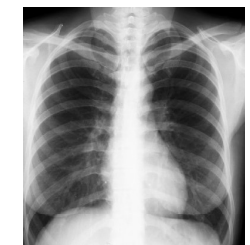
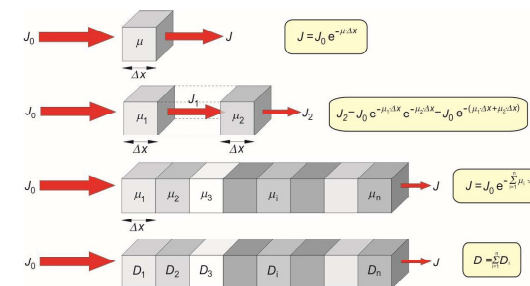


C-karos készülék rtg.-kép erősítővel



Új lumineszkáló anyagok fejlesztése Félvezető detektorok

Rtg-diagnosztikai szempontok – az átvilágításban „szummációs” kép keletkezik



$$D = 1g \frac{J_0}{J}$$

Megoldás: egy testszelet többirányú átvilágítása → minden képelem több kombinációban → **Röntgen- CT**

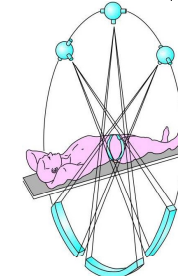
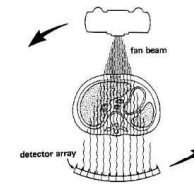
Autó vezető szummációs röntgenképe



Röntgen-CT

Mérési adatgyűjtés:

-jól definiált sok irány mentén, egy síkban



-minden képelem legalább két független irány mentén

-kiértékelés: számítással $\rightarrow \mu$ képelemenként \rightarrow metszeti eloszlások vizualizálása



G.H. Hounsfield A.M. Cormack
Nobel díj 1979

Nagy sugárterhelés

$\sim 500x$ hagyományos

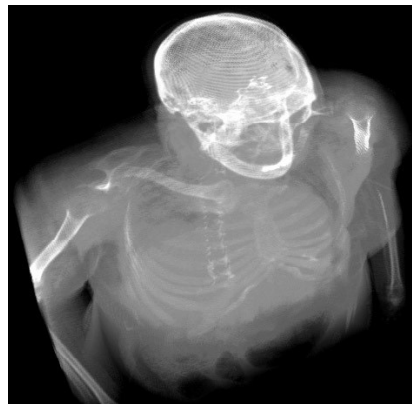
Röntgen-CT

Hounsfield-skála - ablakozás

$$HU = \frac{\mu - \mu_{\text{víz}}}{\mu_{\text{víz}}} * 1000$$

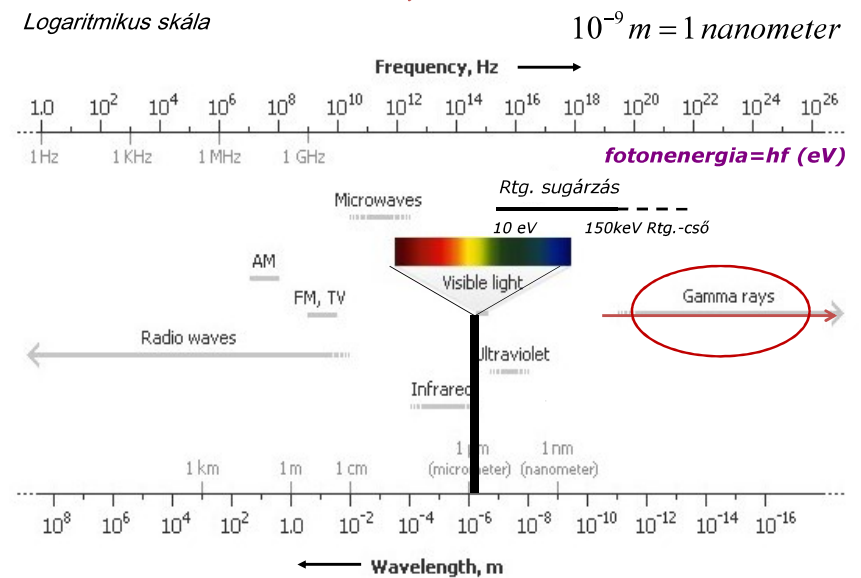
Tömör csont	250-1000
Szivacsos csont	130-100
Máj	65
Izom	45
Vese	30
Koagulált vér	80
Vér	55
Plazma	27
Zsír szövet	-65
Tüdő	-500, -800

Ablakozás: egy adott tartomány széthúzása a teljes szürke-skálán



Fény - rtg.sugárzás - γ -sugárzás

Logaritmikus skála



A gamma-sugárzás alkalmazásai

az abszorpció mechanizmusain alapulnak – „ionizáló” sugárzás

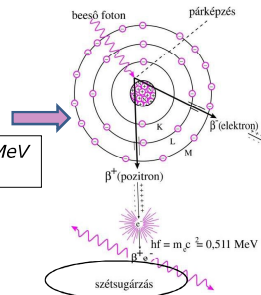
Érvényes az exponenciális abszorpció-törvény

$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

Harmadik mechanizmus ha $hf > 2 \times 0,511 \text{ MeV}$
párhépzés

$$hf = 2m_e c^2 + \frac{1}{2} m_e v_e^2 + \frac{1}{2} m_p v_p^2$$



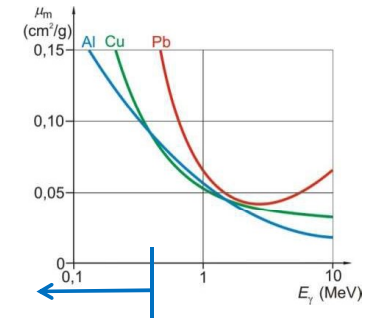
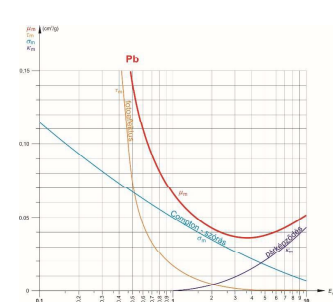
Pozitron-elektron annihiláció
→ 2 gamma foton ellentétes irányban
0,511 MeV energiával

gamma-sugárzásról

eredete: magátalakulás, fotonenergia ~ MeV

elnyelési valószínűség: << rtg. sug.

- 1 MeV körül minimuma lehet



Röntgen diagnosztika :

kisebb energiák nagyobb elnyelődés

γ - Diagnosztikai alkalmazás alapja:

Kis elnyelési valószínűség →

Izotópos nyomjelzés (Tk. VIII/19)- Gamma kamera, SPECT, PET (VIII/55)

Köszönöm a figyelmet

