

***Rádioaktivita
a
ionizujúce žiarenie***

Ivan Poliaček

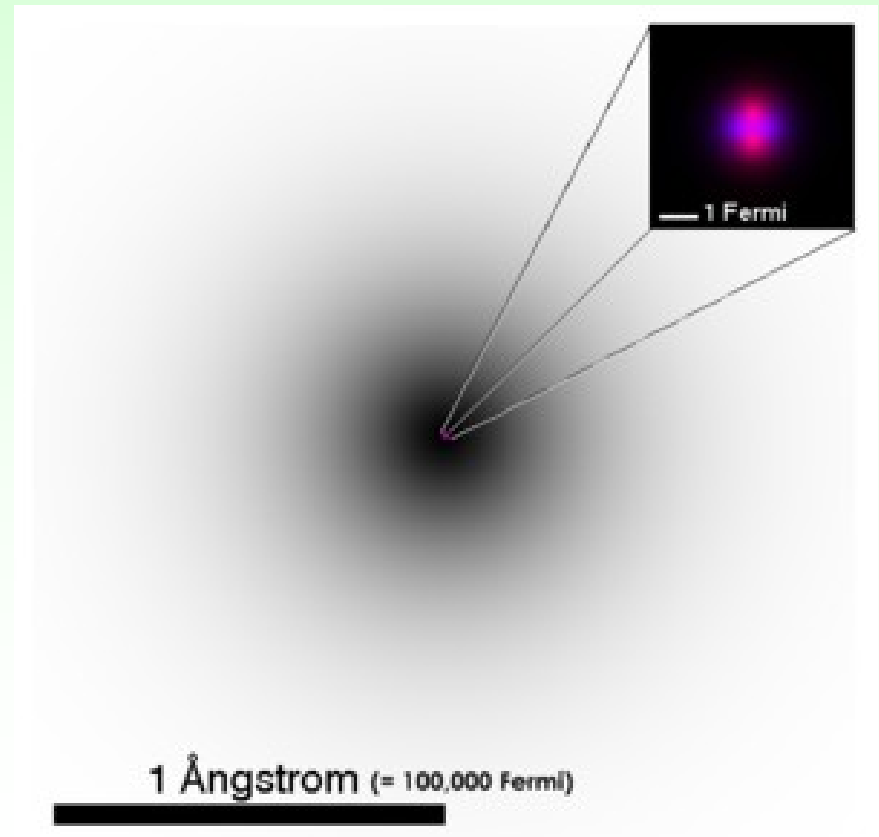
Ciele prednášky

- štruktúra atómu
- ionizácia
- porovnanie ionizácie a excitácie (energia fotónu)
- vznik ionizujúceho žiarenia
- základné častice a ich vlastnosti
- mechanizmy interakcie
- základné jednotky
- základ poškodzovania biologického materiálu

ATÓM

základná štruktúra atómov a molekúl - jadro, elektrónový obal

- veľkosť – typicky, rádovo 10^{-10} m
- jadro - 10^{-15} m
 - protóny a neutróny
- elektrónový obal



EXCITÁCIA

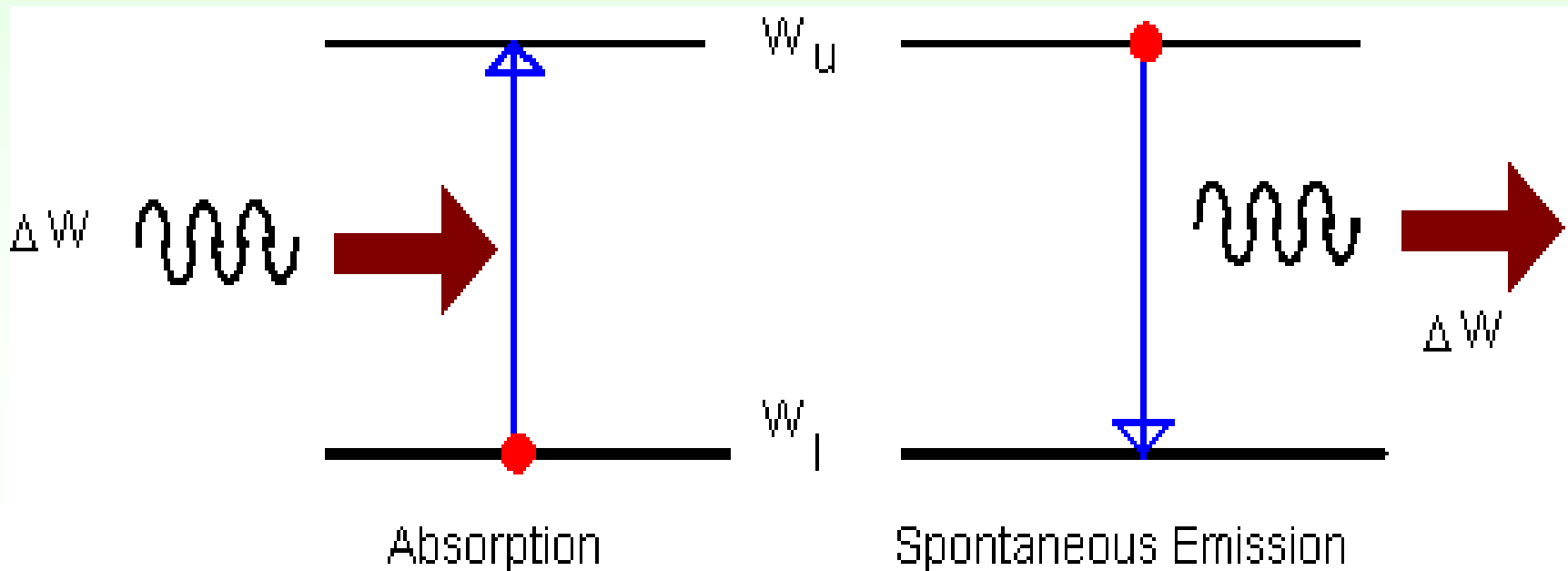
vzbudený stav atómov a molekúl

- absorpcia energie atomárnym alebo molekulovým systémom

$$\text{energia } \Delta W = (W_u - W_l)$$

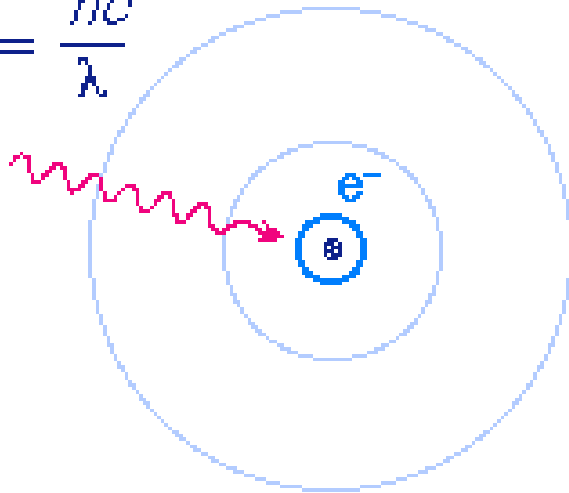
ABSORBOVANÁ

EMITOVANÁ

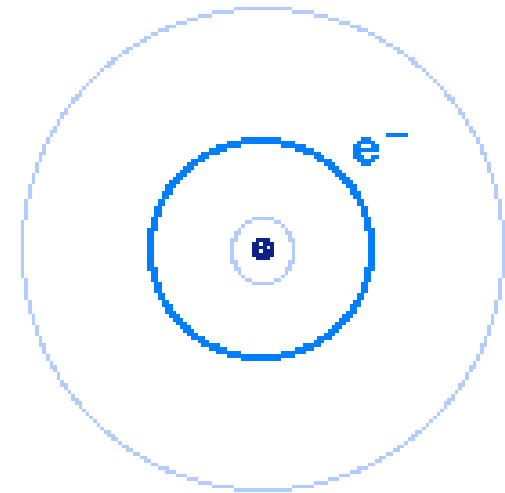


Excitácia atómu absorpciou fotónu a de-excitácia emisiou svetla

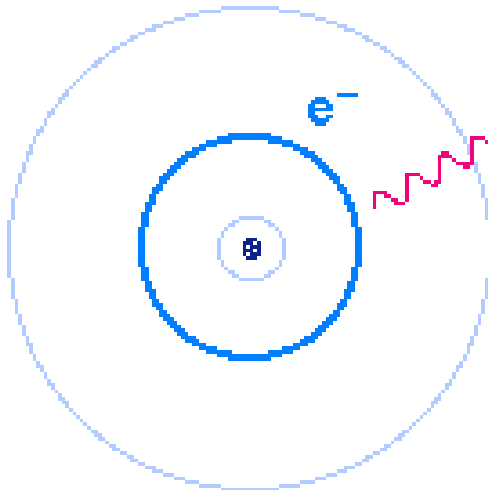
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



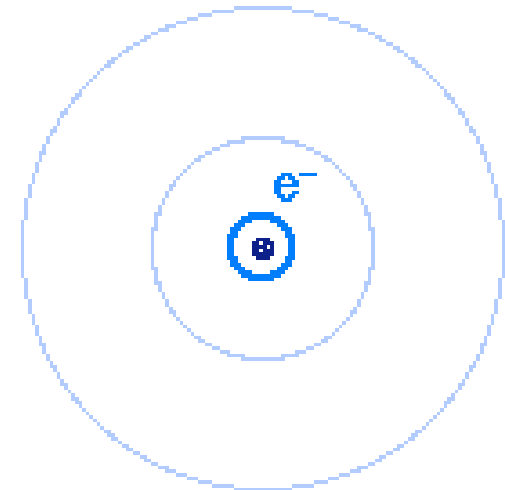
Atomic
Excitation



$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



Atomic
De-excitation



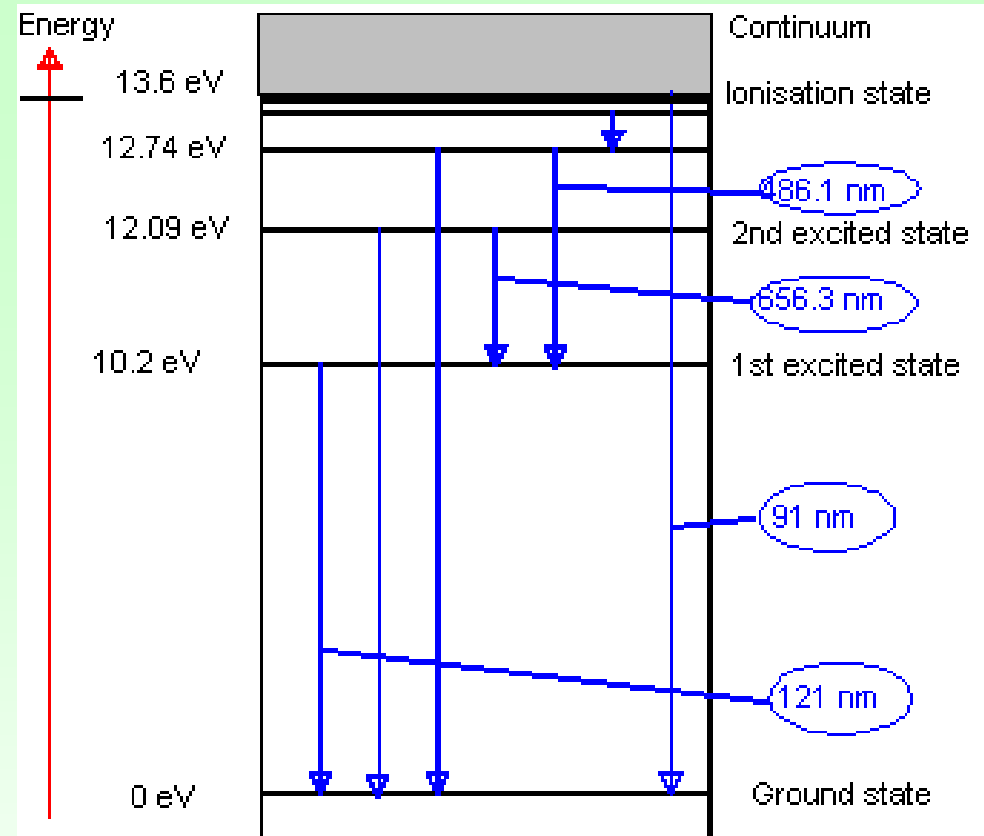
FOTÓN

$W(\text{fotón})$

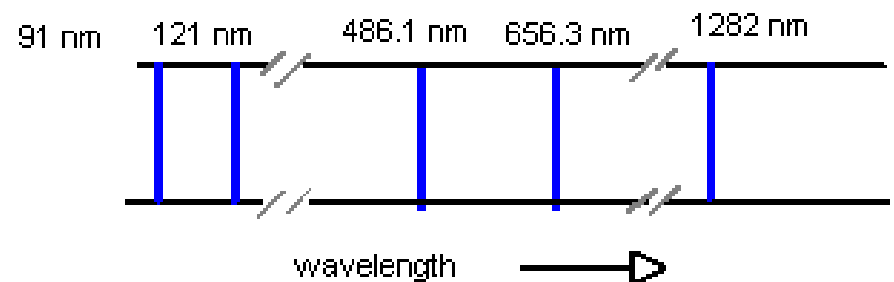
$= \Delta W$

$= (W_u - W_l)$

- **energía fotónu**



ENERGY DIAGRAM FOR HYDROGEN ATOM

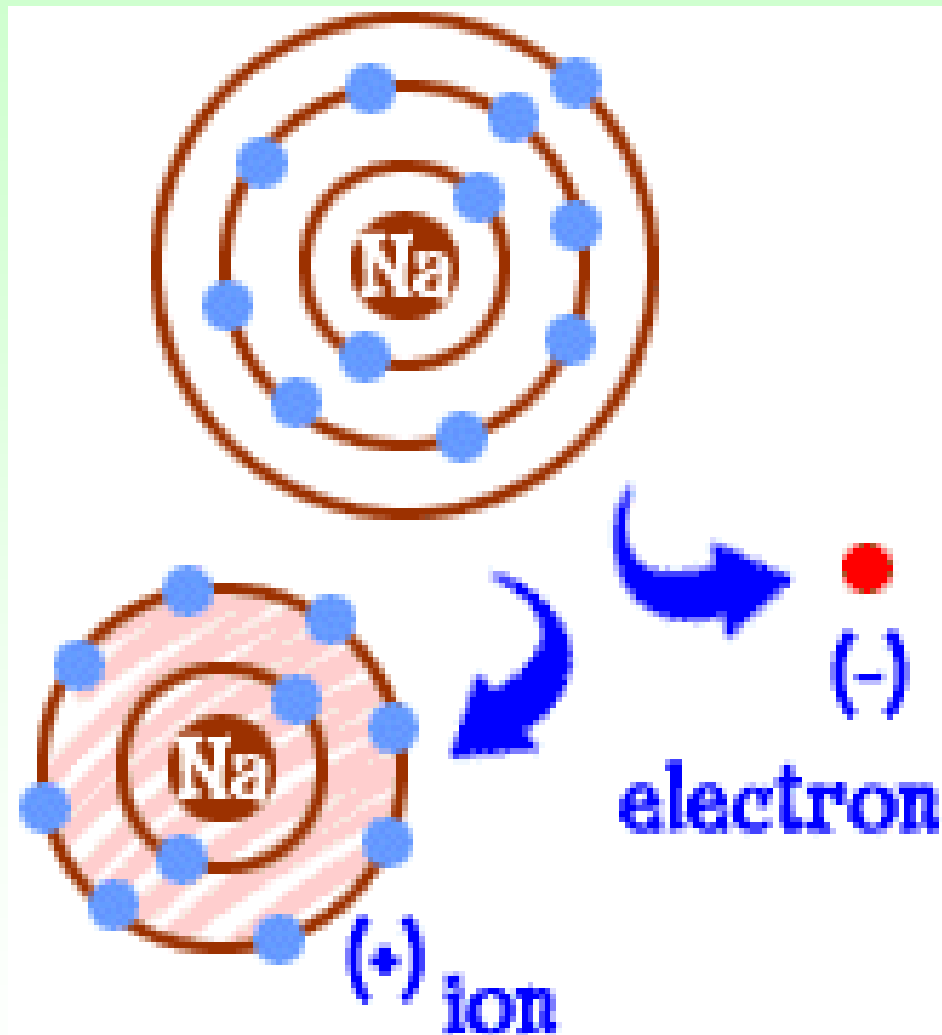


PORTION OF SPECTRUM OF HYDROGEN

IONIZÁCIA

elektrón prijme
energiu
dostatočnú na
jeho uvoľnenie z
atómu
(molekuly)

- ionizačná práca (desiatky eV) + kinetická energia



6 240 miliárd MeV = 1 J

1 eV = 1,602 x 10⁻¹⁹ J

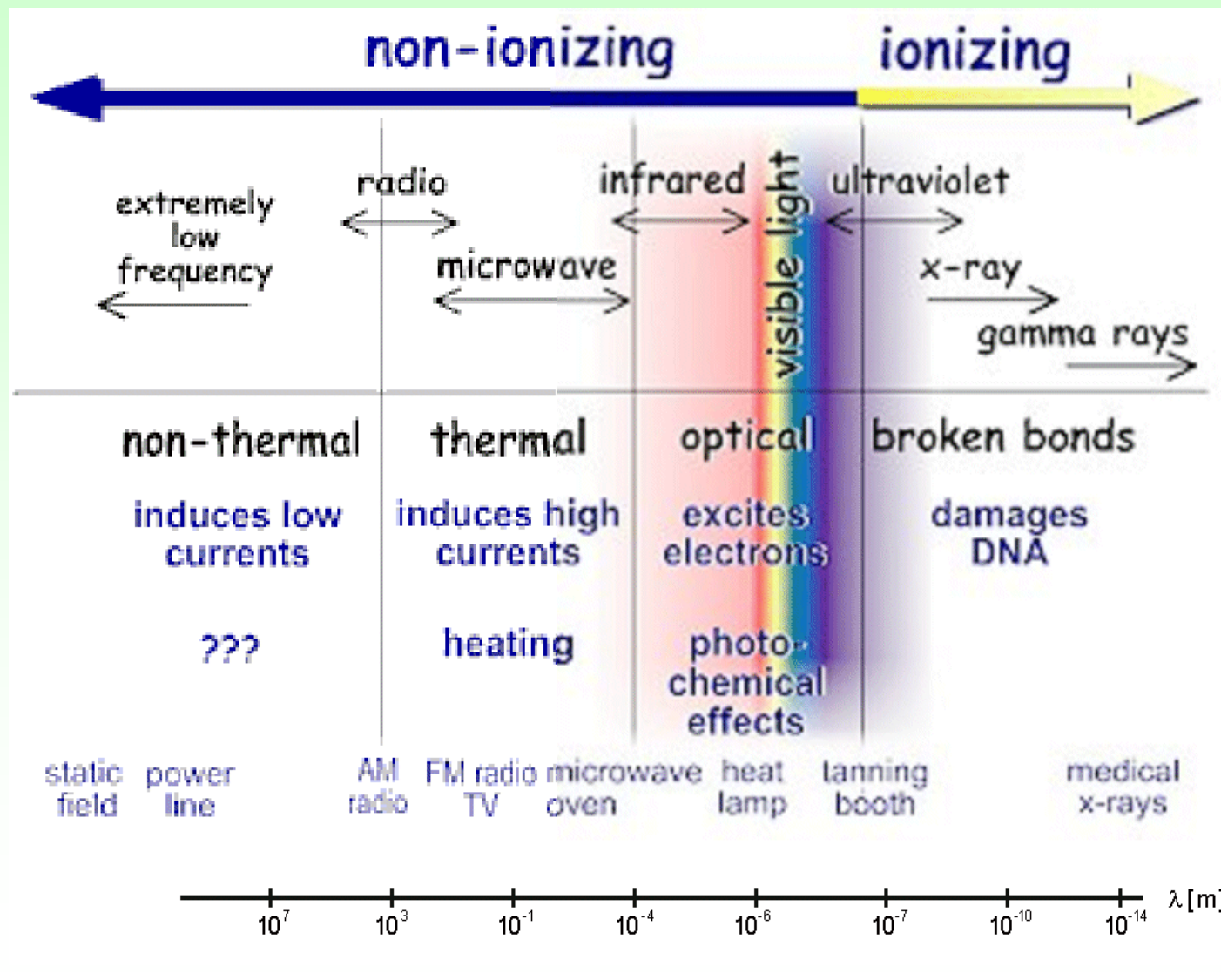
Ionizujúce žiarenie

- **žiarenie** - schopné nielen excitovať atómy a molekuly, ale ich aj ionizovať
(dostatočná energia na uvoľnenie elektrónu)
- - **electromagnetické vlnenie – vlnové dĺžky pod 100 nm**
 - **UV (<100 nm), rtg lúče, gama žiarenie**
- - **korpuskulárne**
 - **alfa, beta, neutróny, iné častice**

6 240 miliárd MeV = 1 J

1 eV = 1,602 x 10⁻¹⁹ J

Elektromagnetické spektrum



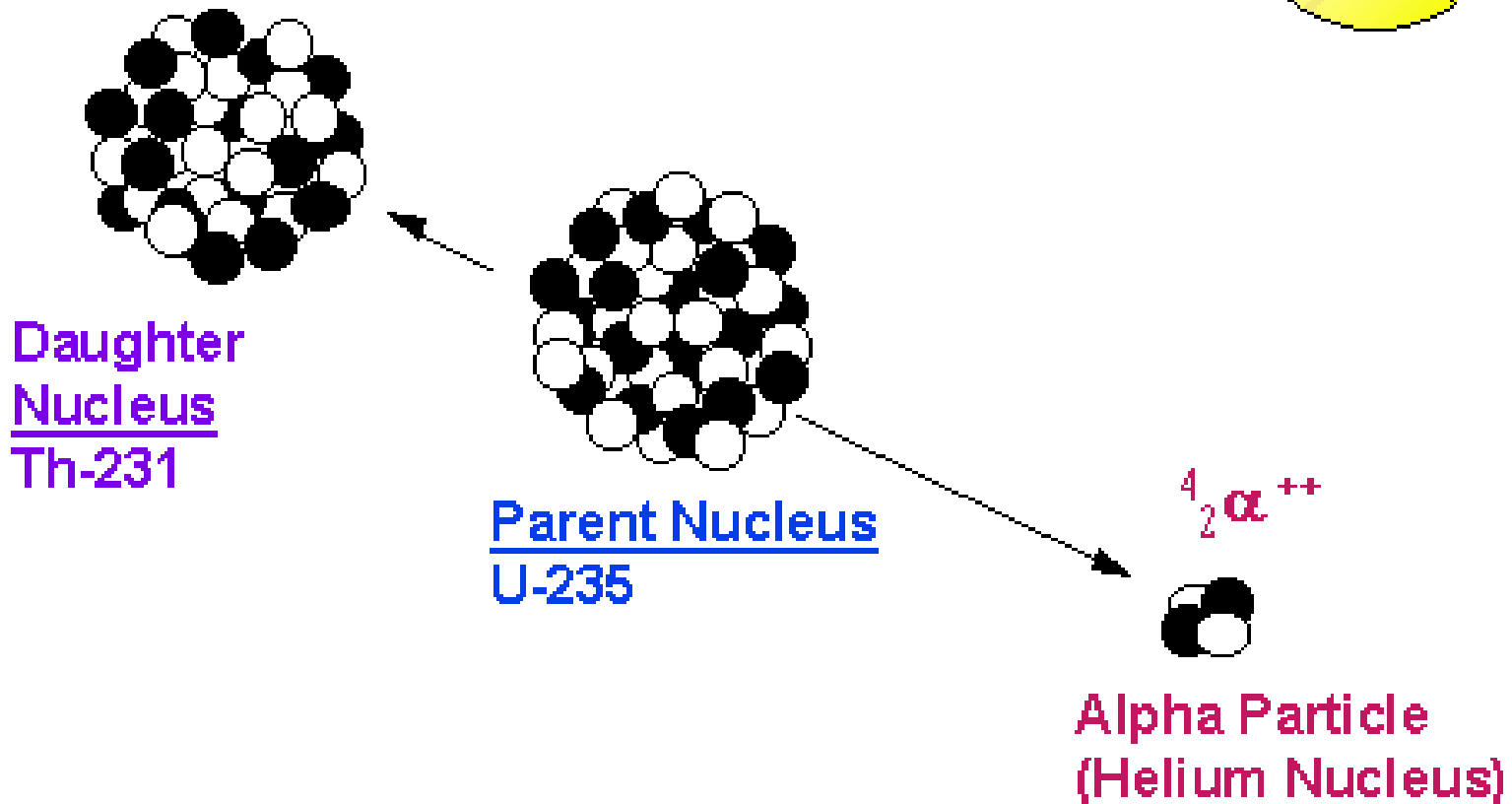
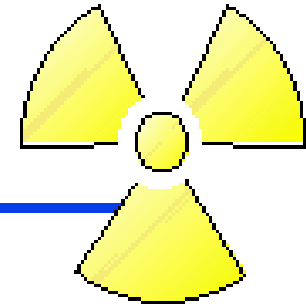
Zdroje ionizujúceho žiarenia

- rádioaktivita (významná zmena jadra atómu – hmotnosti, náboja, energie) -
základný zákon rozpadu, aktivita vzorky
- umelá rádioaktivita (po zmene stabilného jadra napr. „ostreľovaním“ neutrónmi)
- produkcia spojitého (v rtg lampách) a charakteristického rtg žiarenia
- urýchľovače (využitie elmg poľa na zrýchľovanie častíc až dosiahnu vysoké rýchlosti a energie)

Spontaneous Alpha Decay of a ^{239}Pu Nucleus



Alpha Particle Radiation



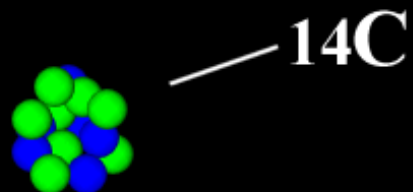
β^+ Decay

● = Neutron
● = Proton

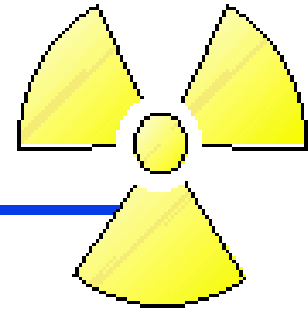


β^- Decay

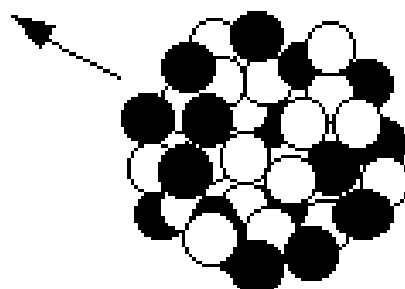
● = Neutron
● = Proton



Beta Particle Radiation



Daughter
Nucleus
Calcium-40



Parent Nucleus
Potassium-40

${}^0_0\bar{\nu}$

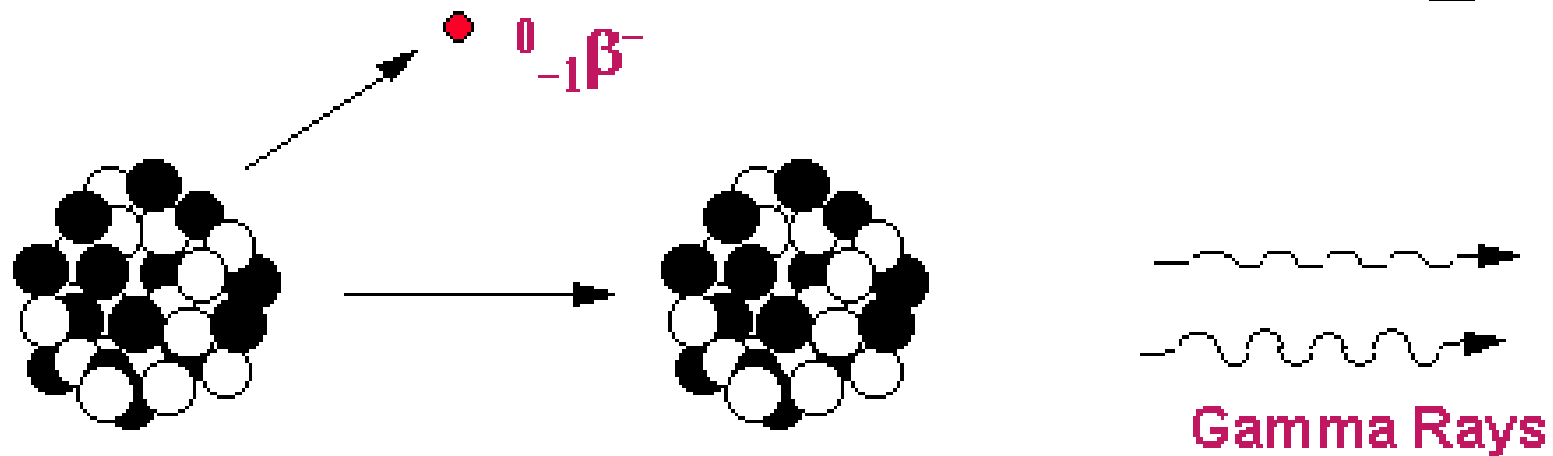
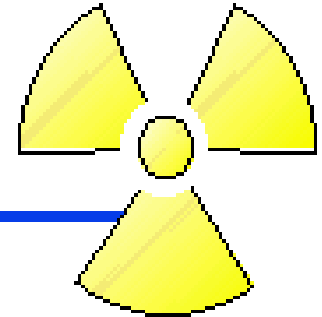
Antineutrino

${}^0_{-1}\beta^-$

Beta Particle



Gamma-Ray Radiation



Parent Nucleus
Cobalt-60

Daughter Nucleus
Ni-60



AKTIVITA vzorky

počet rozpadov za sekundu

Jednotky:

Becquerel (Bq) = 1 rozpad za sekundu

(Curie (Ci) = $3,7 \times 10^{10}$ Bq)

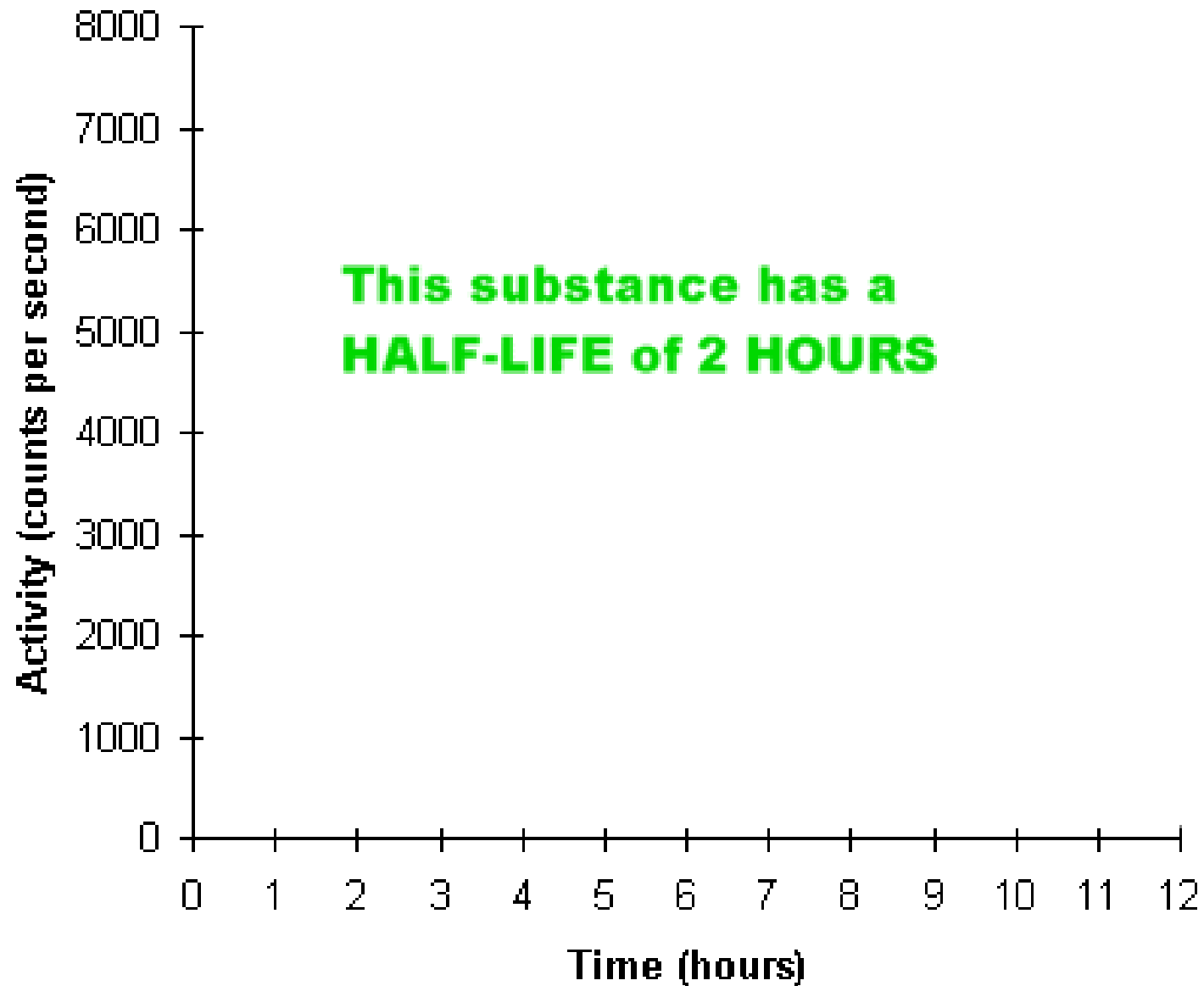
POLČAS ROZPADU

čas (doba) za ktorý sa rozpadne polovica jadier (atómov)

Jednotky:

časové – sekunda, hodina, deň, rok

POLČAS ROZPADU



Zákon rádioaktivního rozpadu

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N – počet jadier v čase t

N_0 – počet jadier v čase 0

λ – rozpadová konstanta

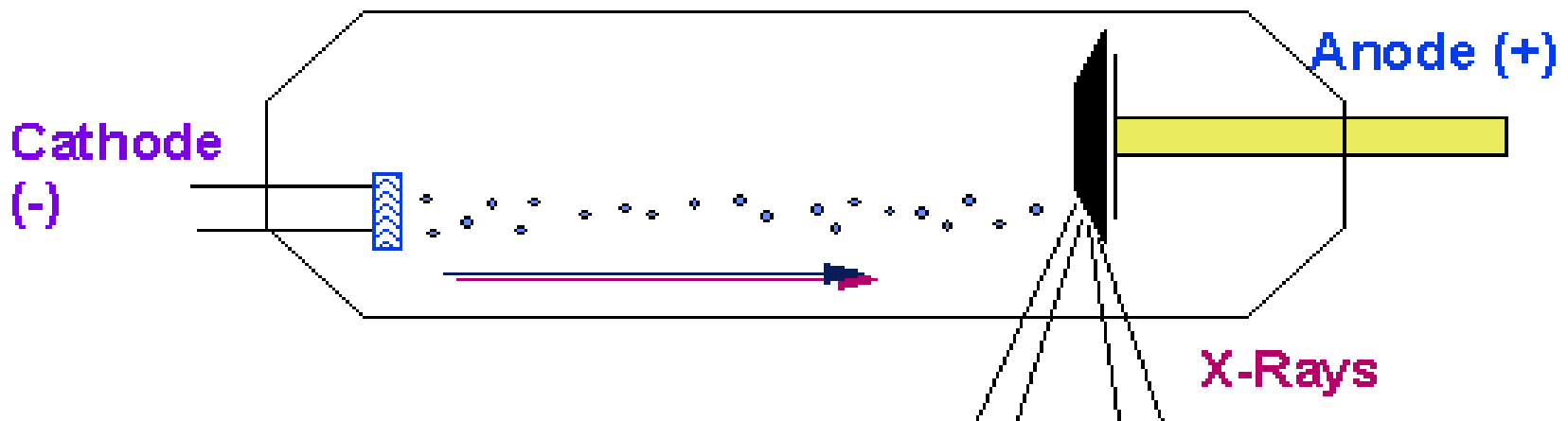
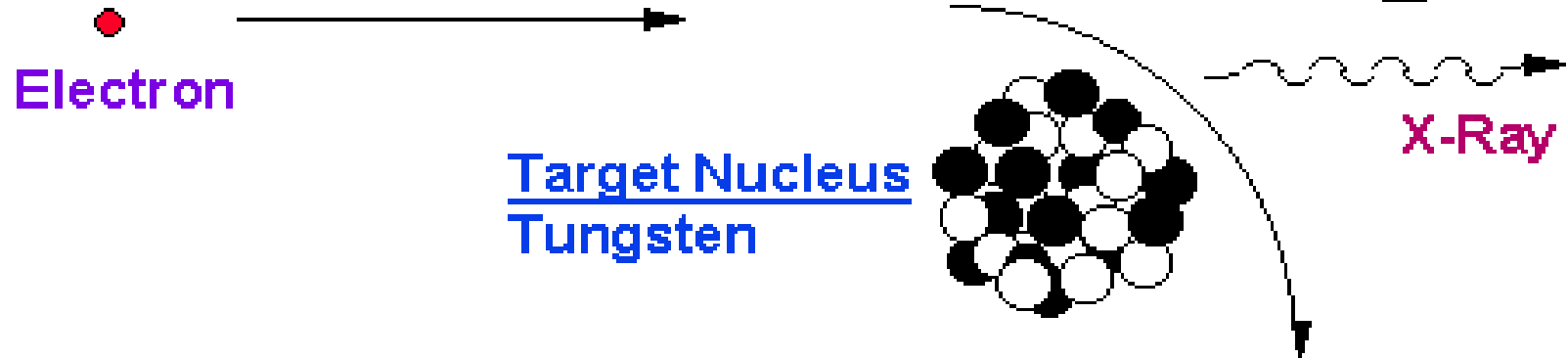
e-Eulerovo číslo=2.71

t – čas

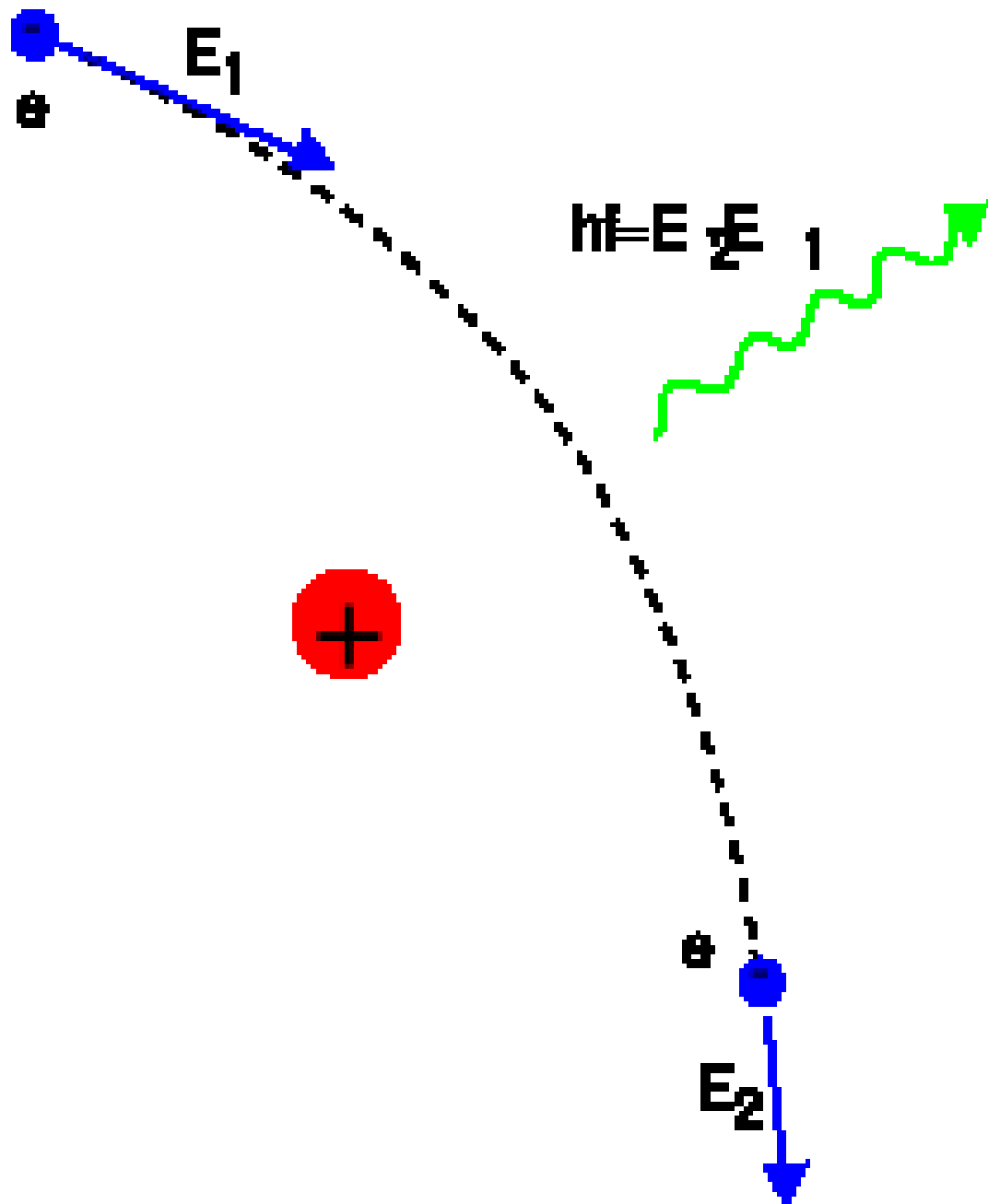
$$\lambda = \ln 2 / \text{polčas}$$

Schéma vzniku rtg žiarenia brzdením elektrónov

X-Ray Production (Bremsstrahlung)



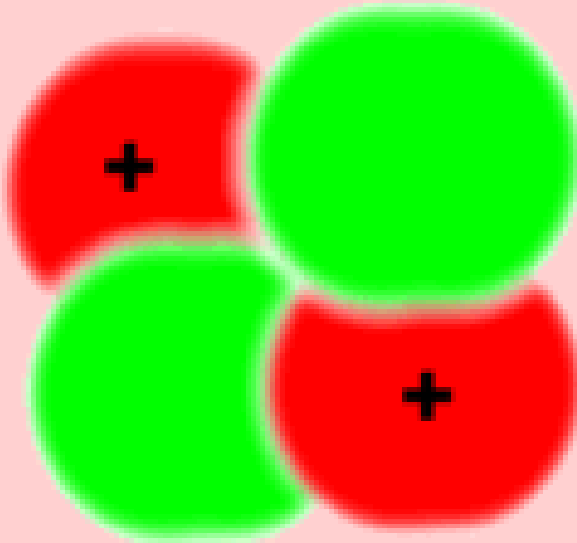
Rtg brzdné žiarenie



TYPY IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

- **alfa** a iné jadrá atómov (t'ážké nabité častice)
- **beta** (ľahké nabité častice)
- **gama a rtg** (elmg pole)
- **neutrónové** (t'ážké nenabité častice)

alfa častice (podobne iné jadrá)



**Alpha particle :-
2 protons
and
2 neutrons**

2 protóny a 2 neutróny

náboj +2

hmotnosť 4

*(v atómových jednotkách, každý
protón alebo neutrón = 1)*

pomerne „**pomalé**“ a „**t'azké**“

V PROSTREDÍ

- **malá priechodnosť** (prenikavosť)
- **vysoká úroveň ionizácie** a aj **excitácie** atómov a molekúl prostredia
- **nebezpečnosť** $Q = 20$
(20x viac voči fotónom)

beta častice



**Beta particle:-
the same as
an electron**

elektrický náboj **mínus 1**
hmotnosť cca **1/2000**

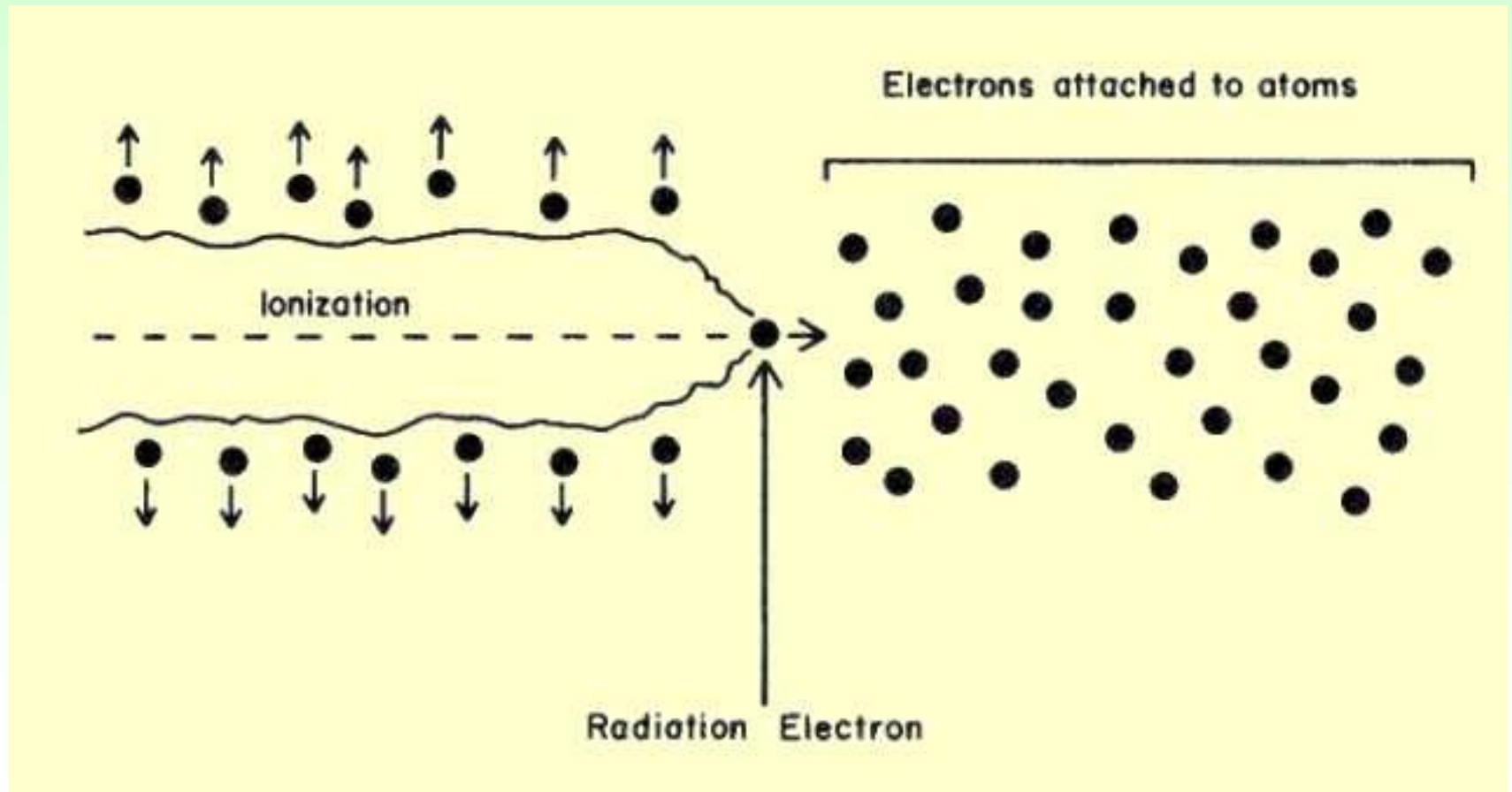
**rýchle (blízko rýchlosti svetla) a
ľahké**

V PROSTREDÍ

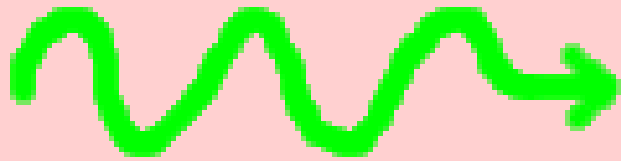
- **stredná prenikavosť**
- **ionizácia aj excitácia** atómov a molekúl, ale menej než alfa
- **produkcia brzdneho rtg**
- **nebezpečnosť Q = 1-2**

Schéma ionizácie

(vyrážania elektrónov z atómov a molekúl)
rýchloletiacim elektrónom (beta časticou)



gama a rtg častice - fotóny



**Gamma ray:-
not a particle,
but a burst of
high-frequency
waves**

nulová kludová hmotnosť
a nulový elektrický náboj

V PROSTREDÍ

- vysoko prenikavé
- „jednotlivé ionizácie“ procesmi

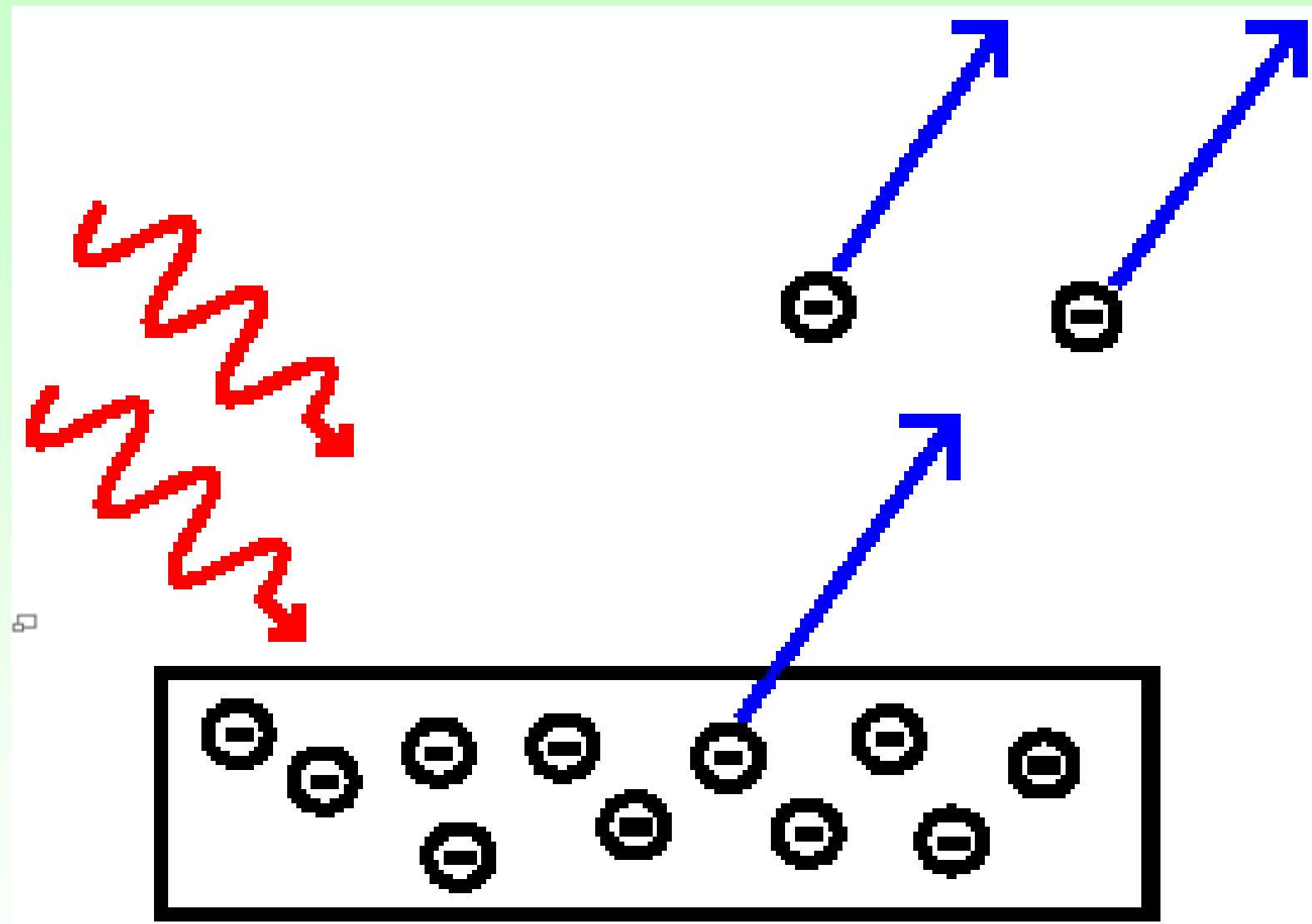
FOTOEFEKT

COMPTONOV ROZPTYL

TVORBA páru elektrón-pozitrón

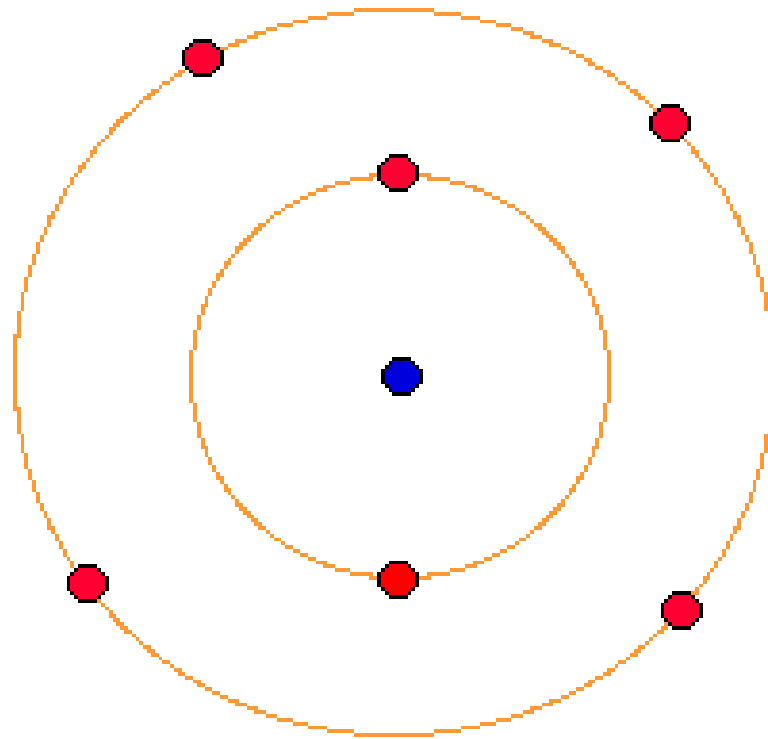
-nebezpečnosť $Q = 1$

Fotóny interagujú najmä s elektrónmi
– na ich absorpciu treba látky s veľa
elektrónmi (ťažké kovy)

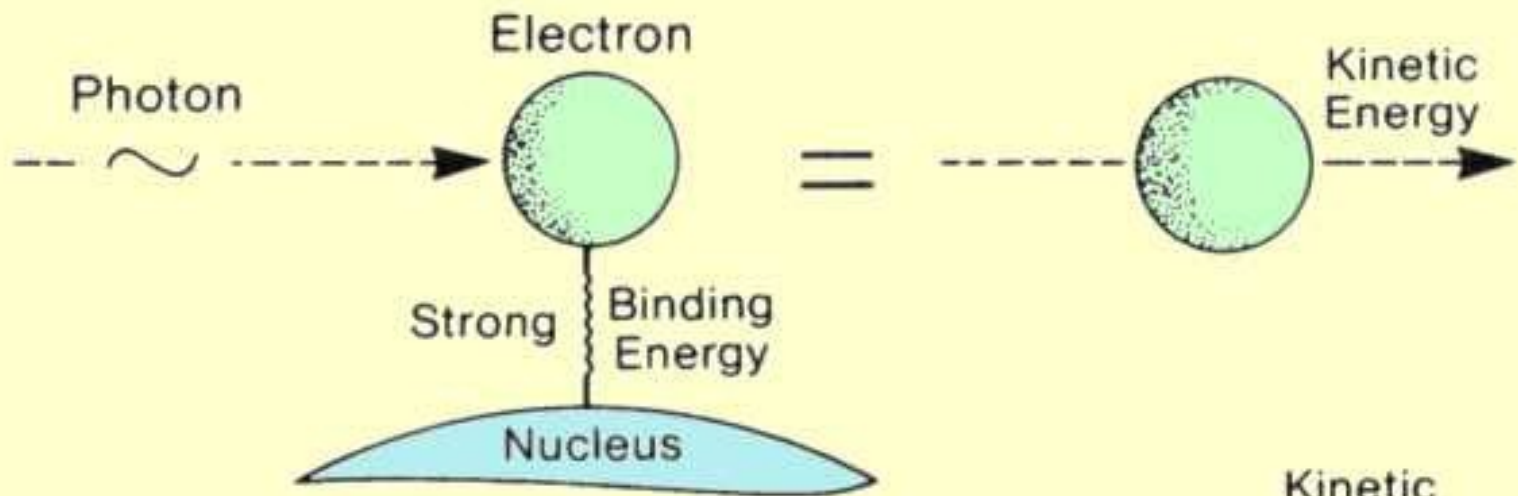


FOTOEFEKT

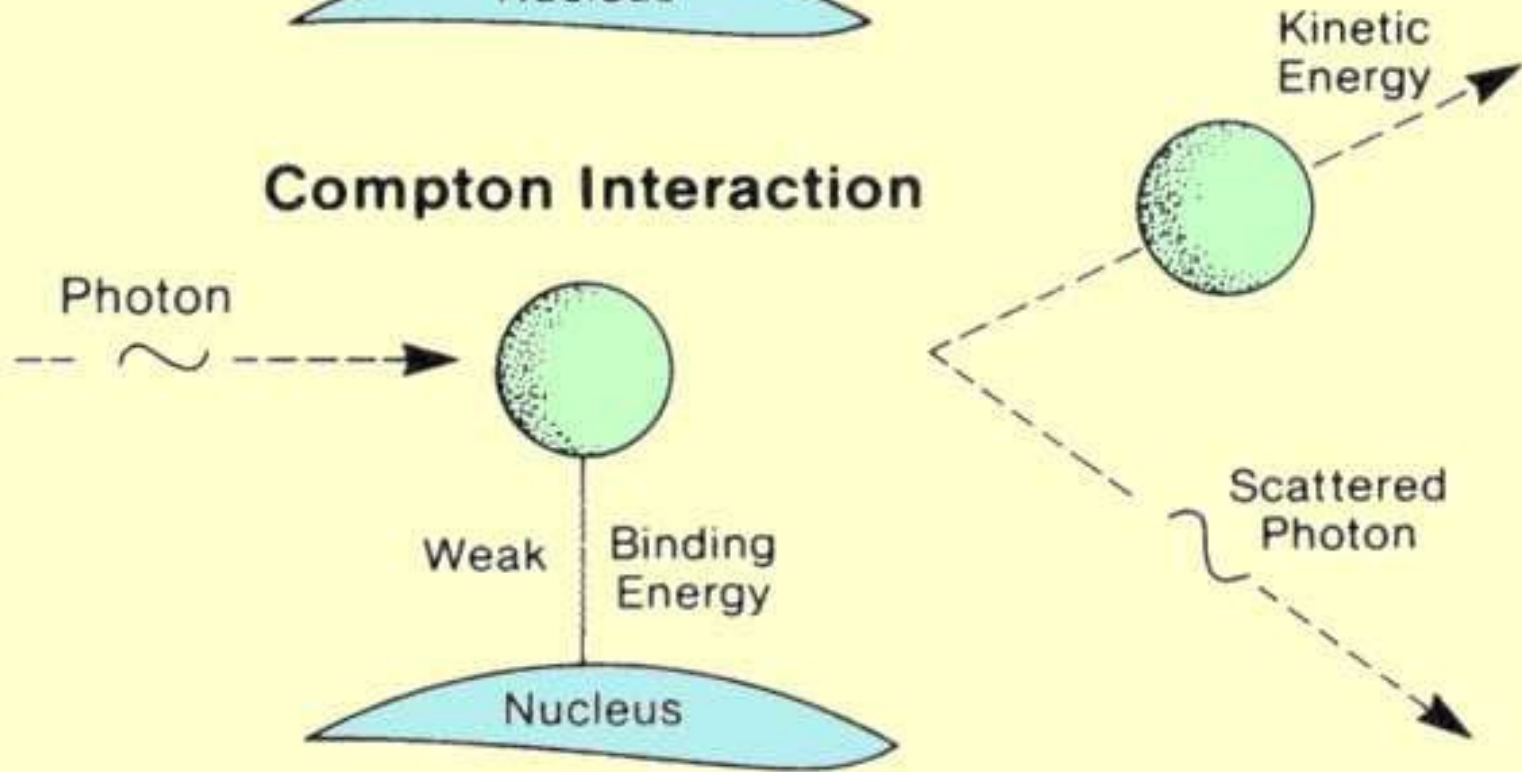
gamma
-ray



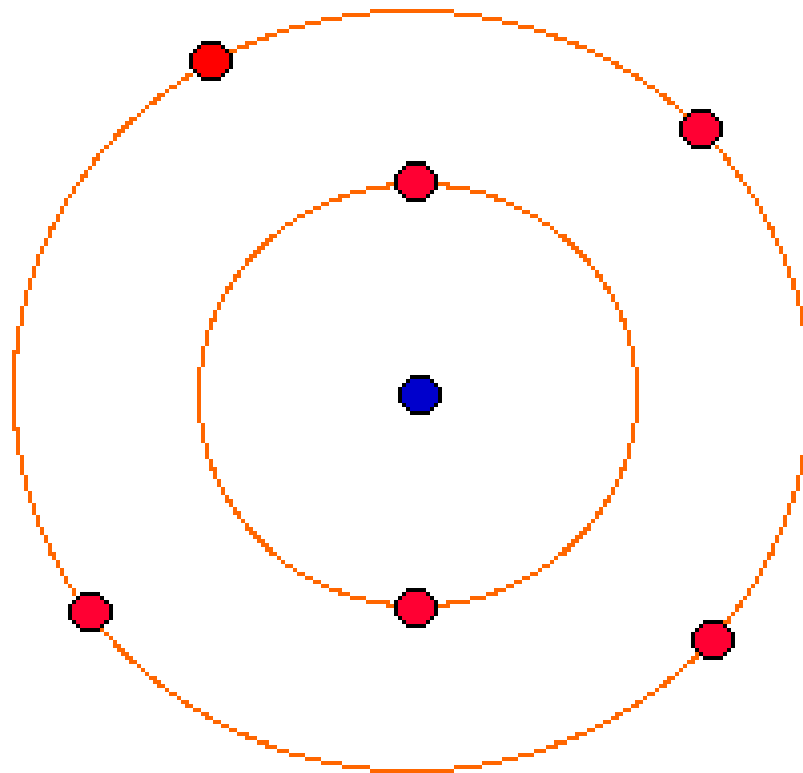
Fotoefekt



Compton Interaction



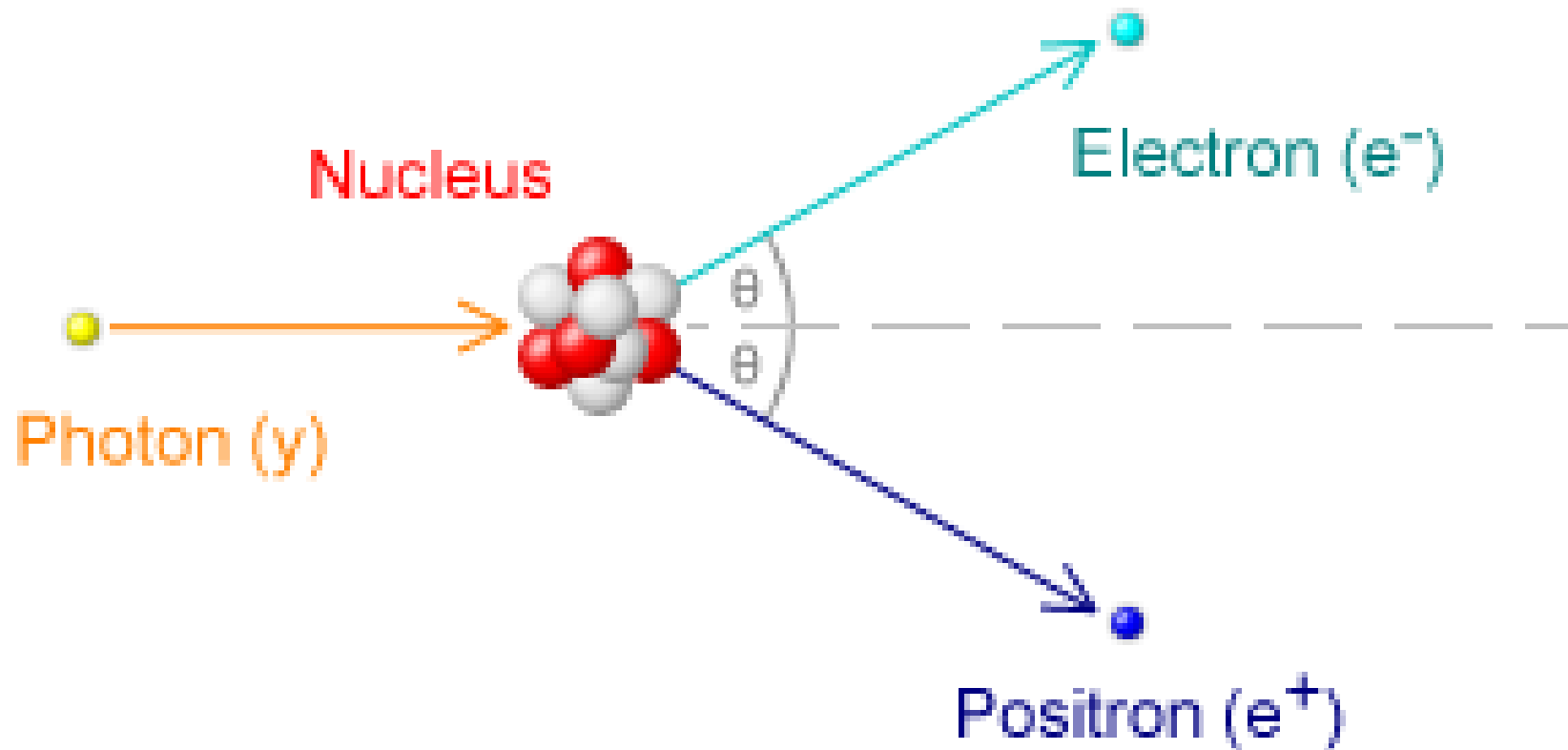
gamma-
ray →



Comptoneffekt

Elektrón – pozitronové páry

(jadro nezmenené, len kompenzovalo hybnosť e^-e^+)



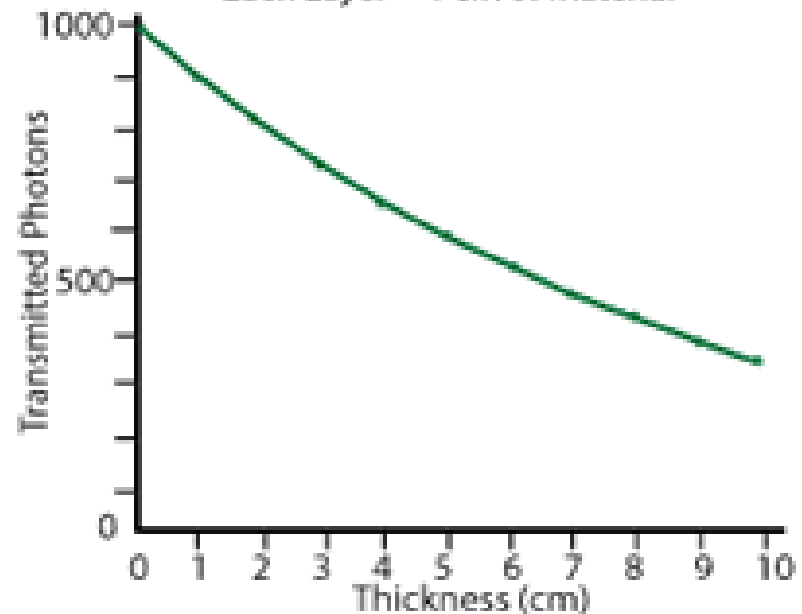
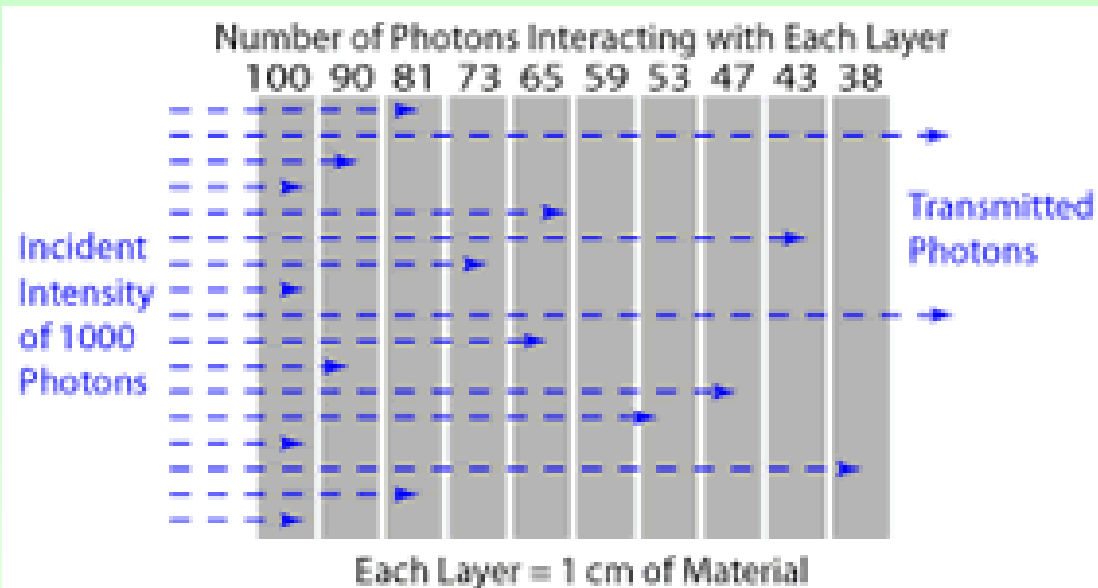
ABSORPCIA

fotónov

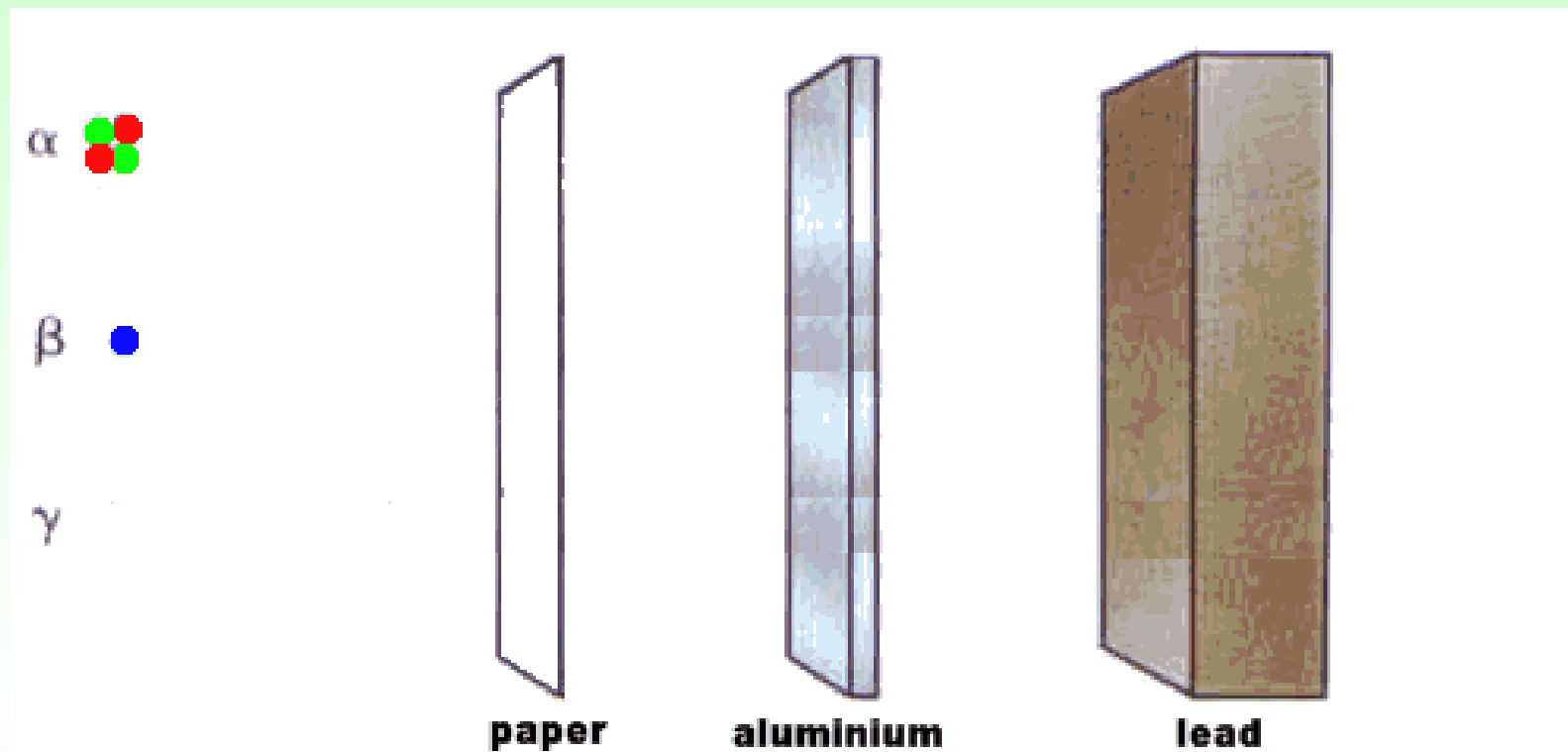
(akékoľvek elmg
pole – svetlo, rtg,
gama lúče...)

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

μ - lineárny absorbčný koeficient
 x - hrúbka vrstvy (hĺbka prenikania)



Alfa častice je možné **ľahko** zastaviť, **gama** žiarenie je **obtiahne** zastaviť (nízka absorpcia = vysoká prenikavosť)



neutróny

- žiadna priama ionizácia (prakticky nijaká interakcia neutrónov a elektrónov)
- jadrové interakcie - rozptyl a jadrové reakcie (interakciou s jadrami zasiahnutej látky ich excituje a vyvoláva gama radiáciu, prípadne zachytením neutrónu vzniká umelo rádioaktívne jadro v látke)
- veľká prenikavosť
- veľmi nebezpečné $Q = 5-20$

neutróny interagujú s jadrami – lepšie ich absorbujú látky s množstvom atómov (voda, uhľovodíky...)

Hlavné veličiny

- Absorbovaná energia - **Dávka (D)**
 - (jednotka : Gray = J / kg)
- Ionizácia - **Expozícia - Ožiarenie (E)**
 - (jednotka : C / kg)
- Biologický účinok - **Dávkový ekvivalent =**
= D x G x Q
 - (jednotka : Sievert = J / kg)
 - Q – koeficient nebezpečnosti žiarenia
 - G – koeficient „geometrie“ ožarovania (najmä ktoré tkanivá sú zasiahnuté)

Biologické účinky ionizujúceho žiarenia

- Účinky sú stochastické (náhodné, pravdepodobnostné) a deterministické (zákonité, pravidelné)
 - priame poškodenie molekúl nukleových kyselín a proteínov,
 - nepriame poškodenia cez produkty rádiolýzy vody (radikály a ióny - H, H₂O₂, H⁺, OH⁻) a ich chemické reakcie.
- Inaktivácia biomolekúl - depolymerácia, poškodenia chemických väzieb
- Inhibícia metabolických reakcií
- Vznik anomálnych produktov
- Poškodenia mitochondrií
- Inhibícia proliferácie
- Choroba z ožiarenia
- Kancerogenéza

Základný mechanizmus účinku

- **Citlivé štruktúry v bunke - genetická informácia** (DNA) a riadenie jej funkcií (súvisiace enzýmy)
- **Citlivé tkanivá - kostná dreň, sliznice, reprodukčné orgány** (genetické a dedičné vady)
 - rýchlo proliferujúce tkanivá (preto aj nádorové tkanivo je citlivé na ožarovanie),
 - pretože sa používa celá genetická informácia na rozdiel od diferencovanej bunky,
 - niet času na opravy vzniknutých chýb pri replikácii opravnými mechanizmami buniek
 - niet času na odstránenie poškodených buniek imunitným systémom

NIE JE ŽIADNY PRIAMY POZITÍVNY EFEKT IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA

Napriek tomu **veľmi významné použitie :**

- rtg diagnostika
- CT tomografia
- emisná tomografia
- rádioimunodetekcia
- rádionuklidové diagnostické metódy
- antiinflamačná a analgetická terapia



Hygienické normy pre ožiarenie :

max. prípustné ožiarenie

- gonády, kostná dreň (celé telo rovnomerne) - 5 mSv/rok
- koža, štítna žľaza, kosť - 30 mSv/rok
- ruky, predlaktia, nohy, členky - 75 mSv/rok
- ostatné tkanivá - 15 mSv/rok

Reálne ožiarenie

- **prirodzené**
 - Rn vo vzduchu, terestriálne, vnútorné a kozmické žiarenie - cca 2,5 mSv/rok
- **umelé**
 - lekárske expozície, spady a odpad (hlavne armáda), energetika - cca 0,5 mSv/rok

AVERAGE ANNUAL DOSES FROM NATURAL RADIATION SOURCES

