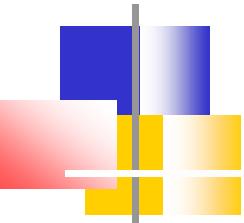


Radioaktivnost

- *Radioaktivnost* je spontana emisija zračenja
- Eksperimenti su ukazali da je radioaktivnost rezultat raspada nestabilnih jezgara
- Mogu se emitirati različite vrste zračenja.
- Najuobičajeniji oblici zračenja su
 - **Alfa** čestice
 - Jezgre ${}^4\text{He}$
 - **Beta** čestice
 - elektroni ili pozitroni
 - pozitron je *antičestica* elektrona
 - Slična je elektronu osim što joj je naboј $+e$
 - **Gama** zrake
 - Fotoni visoke energije
- Zračenja iz jezgre događaju se i u drugim oblicima
 - Emitiranje protona
 - Emitiranje neutrona



Vremenski zakon radioaktivnog raspada

- Broj jezgara koje se raspadnu u danom vremenu proporcionalan je ukupnom broju jezgara u radioaktivnom uzorku

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

– λ se naziva *konstanta raspada*

- *Aktivnost*, A, radioaktivnog uzorka se definira kao broj raspada po sekundi

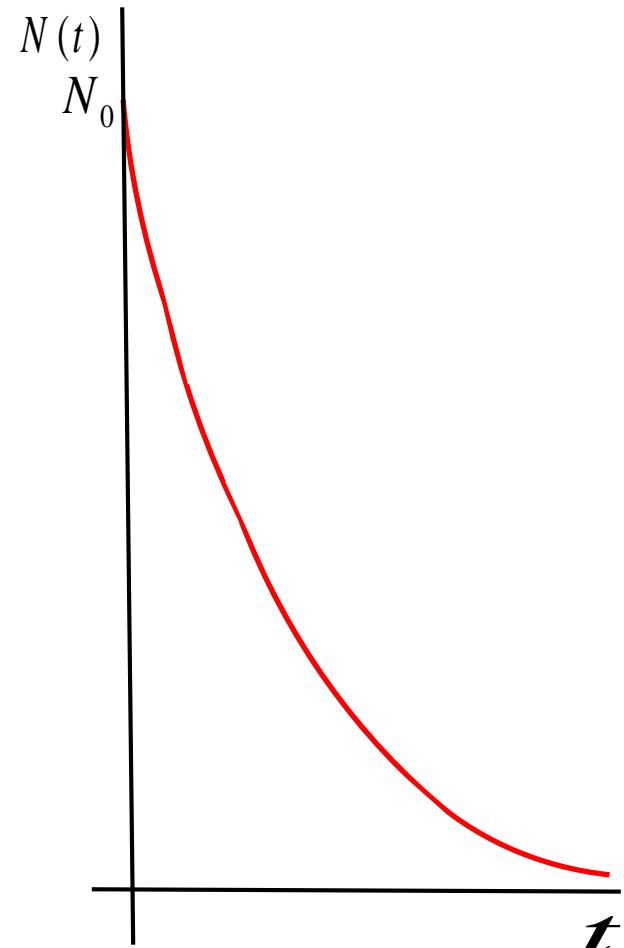
$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

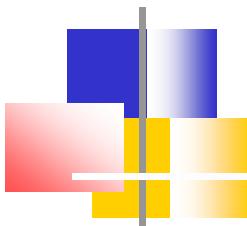
- Krivulja raspada

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

- Vrijeme poluživota je vrijeme potrebno da se polovina danih radioaktivnih jezgara raspadne

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$





Jedinice za aktivnost

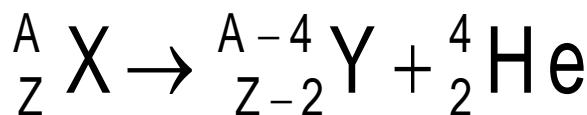
- Tradicionalna jedinica za aktivnost, A, je *Curie, Ci*
 - $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ raspada/s
- SI jedinica aktivnosti je *Becquerel, Bq*
 - $1 \text{ Bq} = 1 \text{ raspad / s}$
 - Stoga, $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
- Uobičajene jedinice za aktivnost su mCi i μCi

Aktivnost (Bq)	Primjena
1	prirodna aktivnost ljudskog tijela
$10^2 - 10^5$	dijagnostički testovi
$10^5 - 10^8$	tehnika skeniranja pacijenta
$10^7 - 10^9$	terapija karcinoma izotopima
10^{13}	γ -izvori za radioterapiju
10^{16}	izvori za tehnološku obradu zračenjem

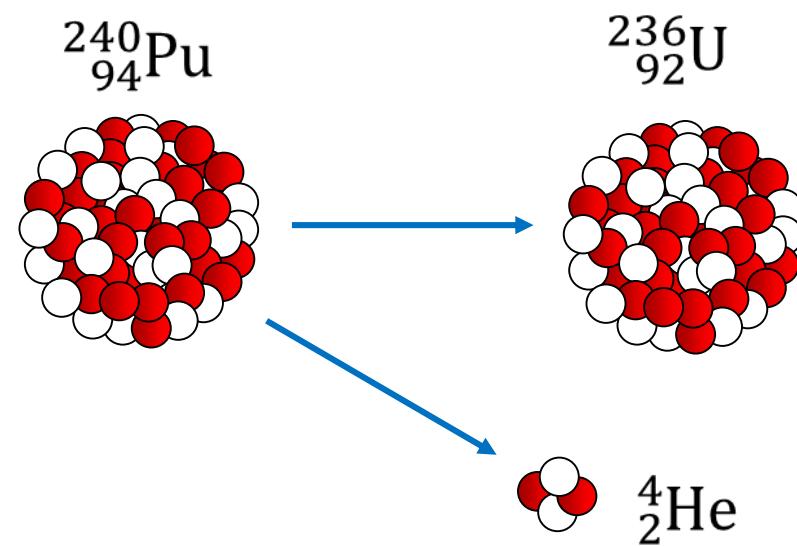
Aktivnost izvora u raznim primjenama

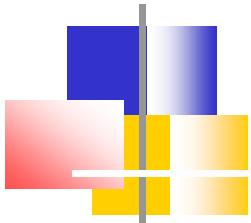
Alfa raspad

- Kad jezgra emitira **alfa česticu** gubi dva protona i dva neutrona
 - N pada za dva 2
 - Z pada za 2
 - A pada za 4
- Simbolički,

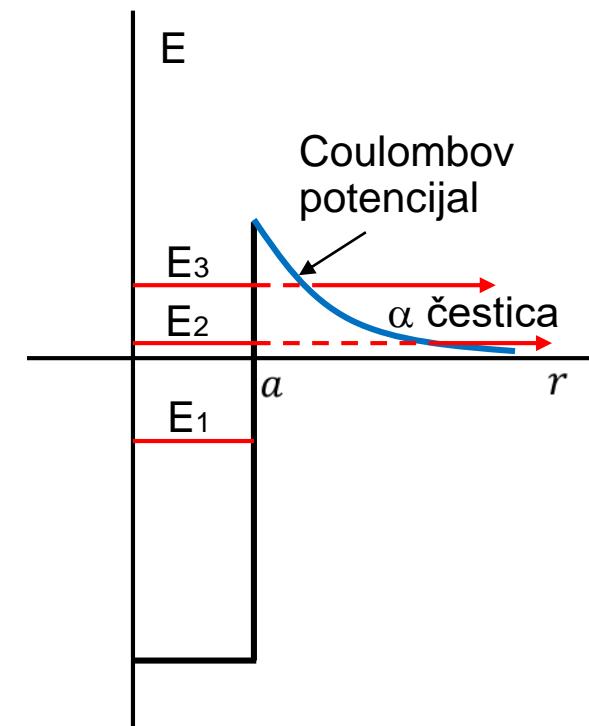


- X se naziva roditelj
- Y se naziva potomak



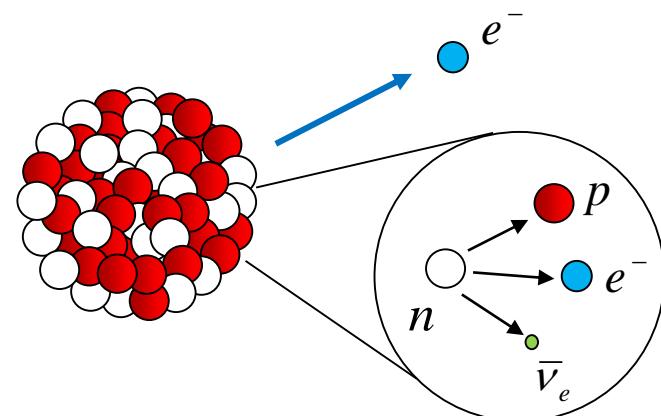


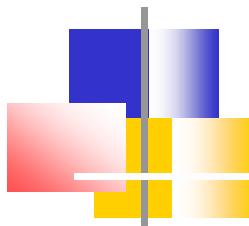
- Alfa čestica unutar jezgre vezana je s ostatom jezgre jakim nuklearnim silama, dok izvan jezgre djeluje odbojnim Coulombovim potencijalom s ostatom jezgre
- Visina barijere veća je od prosječne energije alfa čestice (6MeV), te alfa čestice tuneliraju kroz barijeru
 - alfa čestice na nivoima s negativnom energijom ne mogu izaći iz jezgre
 - alfa čestice na nivoima s pozitivnom energijom tuneliraju kroz barijeru
- Nakon tuneliranja ubrzaju se na Coulombovom odbojnom potencijalu, sve dok se početna potencijalna energija ne pretvori u kinetičku



Beta raspad

- Za vrijeme beta raspada, potomak ima isti broj nukleona kao roditelj, ali atomski broj je različit za jedan
- Usto, elektron (pozitron) je opažen
- Emisija elektrona (pozitrona) je iz jezgre
- Jezgra sadrži protone i neurone
 - Proces se odvija pri transformaciji neurona (protona) u proton (neutron) i elektron (pozitron)
 - Beta minus raspad





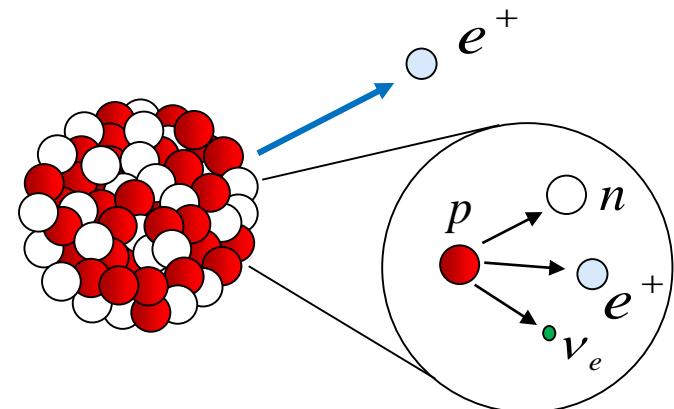
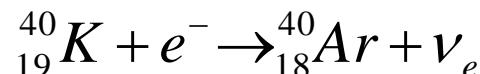
- Beta plus raspad



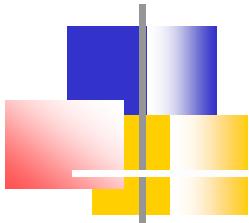
- Zahvat elektrona:

Atomska jezgra može smanjiti svoj atomski (redni) broj, umjesto emisijom beta plus (pozitron) čestice, zahvatom jednog elektrona iz elektronskog omotača, pri čemu se jedan proton pretvara u neutron uz emisiju neutrina

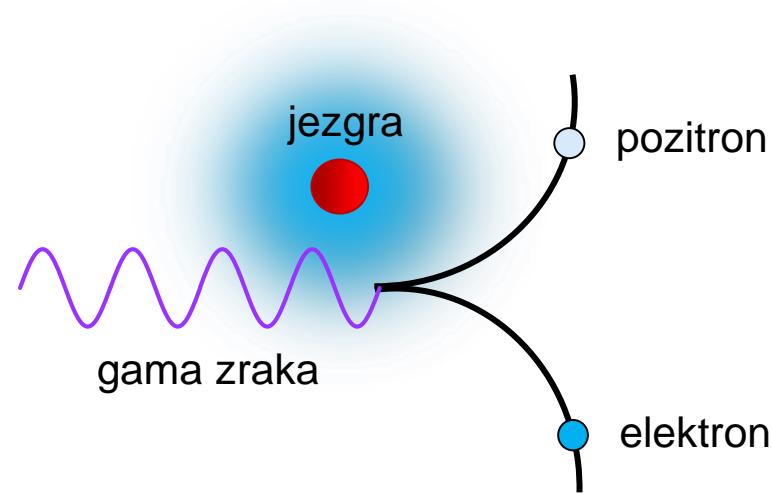
Npr.

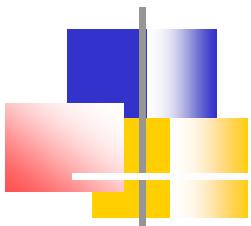


Obično elektron kojeg jezgra „uhvati” dolazi iz jezgri najbliže tzv. K ljeske.



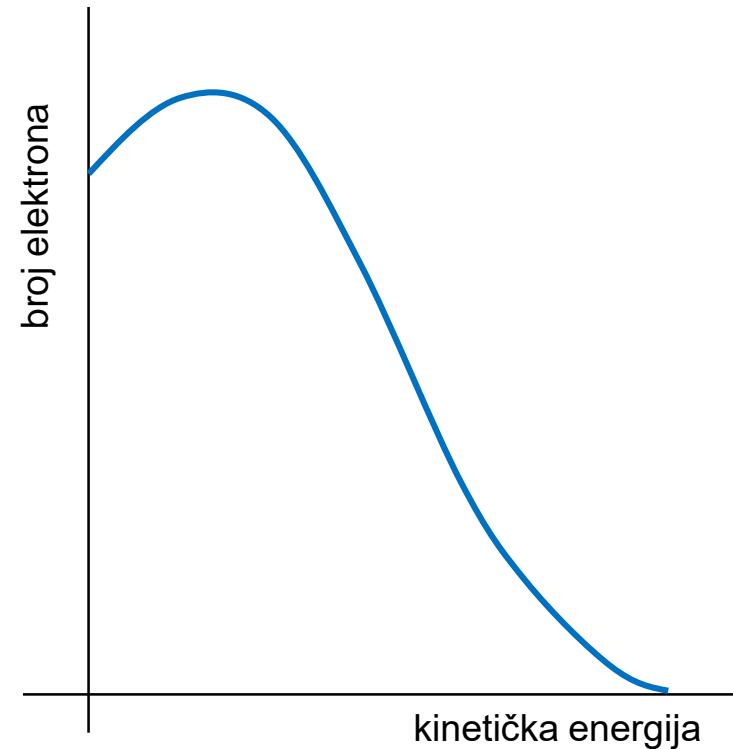
- Postojanje pozitrona predvio je Paul Dirac 1928. godine, a eksperimentalno je potvrdio njegovo postojanje Carl Anderson 1932. godine
- Pozitron ima istu masu kao elektron, spin $1/2$, ali suprotan naboј
- Gama zraka visoke energije prolazeći blizu jezgre može se pretvoriti u čestice - elektron i pozitron





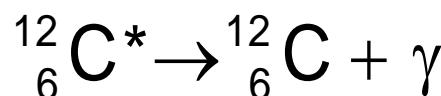
Beta raspad – energija elektrona

- Energija oslobođena beta raspadom morala bi *gotovo sva* ići kinetičkoj energiji elektrona
- Eksperimenti su pokazali da *samo mali broj* elektrona ima tu količinu kinetičke energije
- Da bi rastumačio "gubitak" energije, 1930 Pauli predpostavio postojanje nove čestice
- Enrico Fermi kasnije je nazvao ovu česticu *neutrino*
- Svojstva neutrina
 - Nulti električni naboј
 - Masa mnogo manja od mase neutrona, vjerojatno ne nula
 - Spin $1/2$
 - Vrlo slaba interakcija s materijom

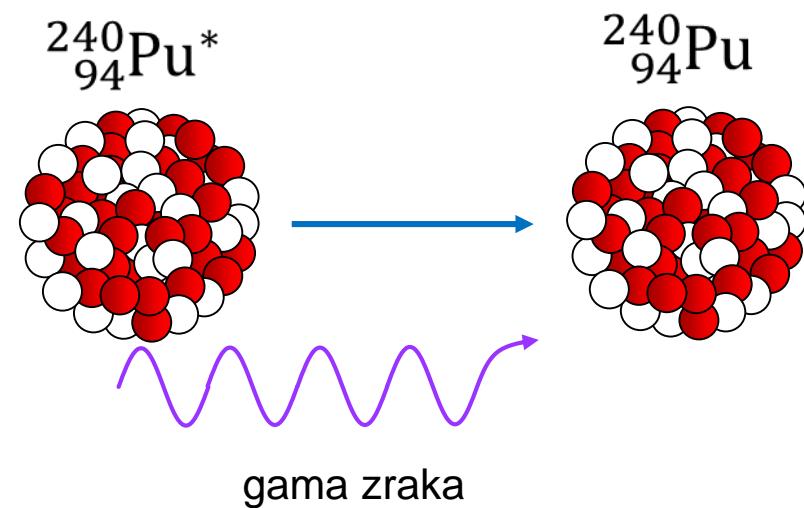


Gama raspad

- Gama zrake se emitiraju kad pobuđena jezgra "pada" na niže energijsko stanje
 - Slično procesu u kojem elektron "pada" na niže energijsko stanje uz emisiju fotona
- Pobuđena stanja jezgre potječu od "skokova" protona ili neutrona
- Pobuđeno stanje jezgre može biti rezultat sudara ili vjerojatnije alfa ili beta emisije
- Primjer raspada
 - Prvi raspad je beta emisija
 - Drugi korak je gama emisija

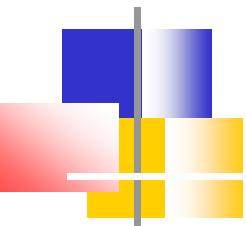


- C^* označava da je ugljikova jezgra u pobuđenom stanju
- Gama emisija ne mijenja ni A ni Z



Međudjelovanje ionizacijskog zračenja s materijom

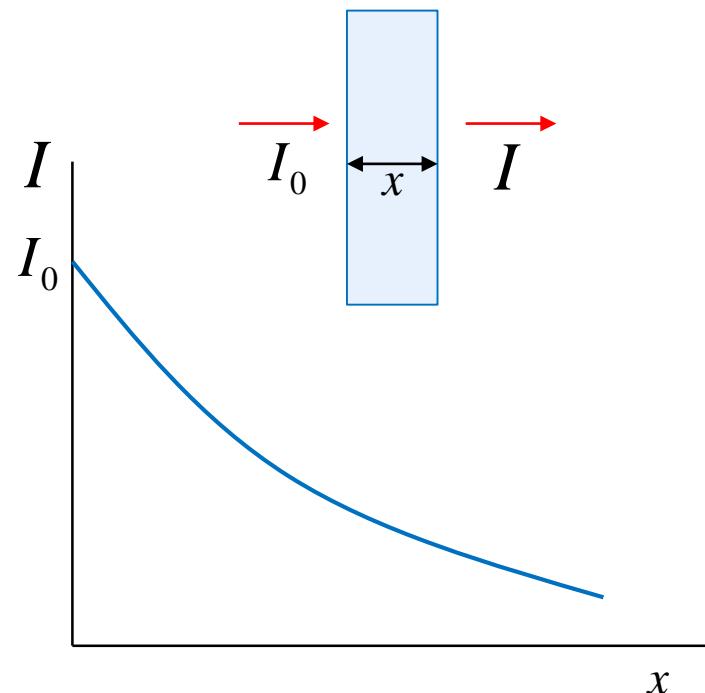
- Pri alfa raspadu alfa čestica dobije veliku kinetičku energiju (1MeV). Prolazom kroz materiju alfa čestica gubi energiju **ionizirajući materiju**. U prosjeku potrebno je približno 35eV da se formira elektron-ion par. Alfa čestica nastala pri alfa raspadu ionizira $\sim 10^5$ atoma. S obzirom da je udaljenost među atomima u čvrstom tijelu reda veličine 10^{-10} m, **dubina prodiranja alfa čestice je $\sim 10^{-3}$ cm**. Već obični **list papira** zaustavlja veliku većinu alfa čestica iz radioaktivnog alfa izvora.
- Elektron pri **beta raspadu** ima relativno širok spektar energija. Najveća energija je reda veličine **1MeV**. Dubina prodiranja beta zraka nešto je veća od one alfa zraka, premda je energija elektrona manja od energije alfa čestice. Naime, vjerojatnost da elektron ionizira atom manja je od iste za alfa česticu. Dubina prodiranja ovisi o izvoru beta zračenja i o sredstvu koje ionizira. **Najveće dubine prodiranja su reda veličine 1cm.**



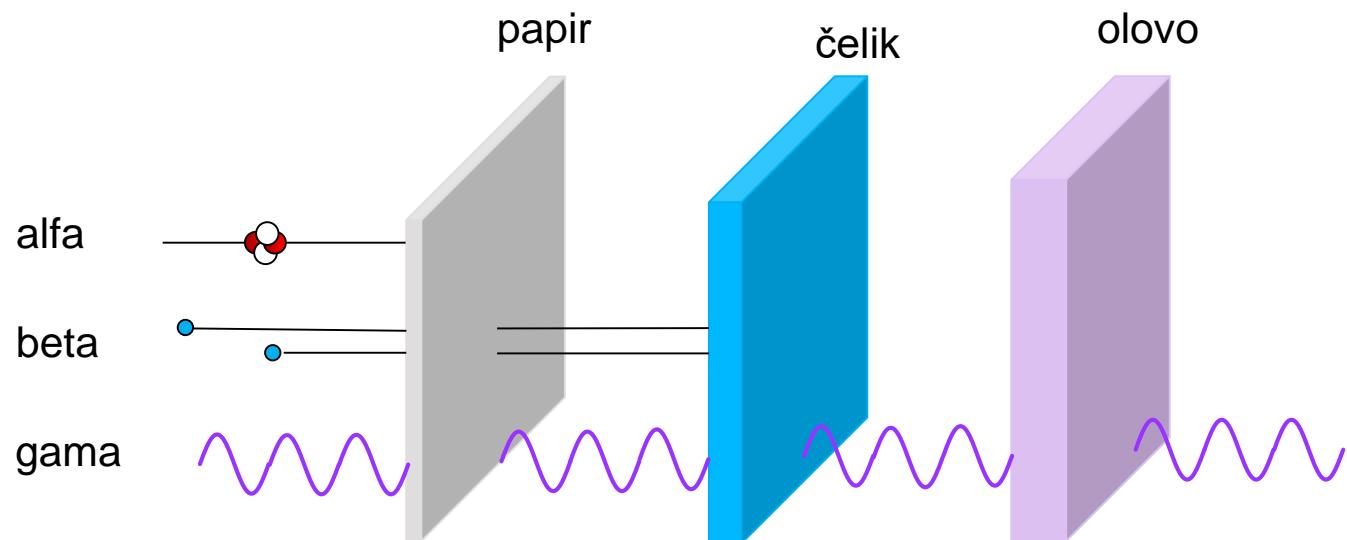
- Kada x ili gama zrake prolaze materijalom onda mogu nastati tri procesa
 - fotoelektrična apsorbcija
 - Comptonovo raspršenje
 - stvaranje parova ion-elektron
- Intenzitet snopa fotona je

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

gdje je I_0 intenzitet upadnog zračenja , μ linearni koeficijent apsorbcije (ovisi o materijalu apsorbenta), a x dubina do koje je prodrlo zračenje



Prodiranje kroz materiju





Dodatni materijali

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/alpha-decay>

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/beta-decay>

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/radioactive-dating-game>