

JONIZUJUĆE ZRAČENJE: OSBINE, INTERAKCIJA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA SA MATERIJOM



Zračenje



- ▶ **Radijacija** ili **zračenje** je energija koju elektromagnetski talasi ili snopovi atomskih i subatomskih čestica usmereno nose kroz prostor
- ▶ iradijacija = ozračivanje, ozračenje, osvetljavanje, zračenje; zrakasto širenje; ozračenje, ozračenost
- ▶ **Zračenje** je proces u kome energetske čestice ili energetske talasi putuju kroz vakuum ili kroz materiju koja nije neophodna za njihovo prostiranje. Talasi samog medijuma, kao što su vodeni ili zvučni talasi, obično se ne smatraju zračenjem u ovom smislu.



Podela



Nejonizujuće zračenje

($E < 12\text{eV}$; λ fotona 100nm , nalazi se u zoni UV svetlosti)

5KeV!



Jonizujuće zračenje

(E najmanja onoliko koliko iznosi E elektrona)

poznate i precizno određene za svaki element



Jonizacija

- Proces jonizacije se javlja kada se materiji preda dovoljna energija pri čemu dolazi do izbacivanja jednog ili više elektrona i tom prilikom nastaje pozitivan- jon
- Izbačeni elektron posduje određenu kinetičku energiju i zato može da jonizuje sredinu kroz koju prolazi
- Pored jonizacije pri prolasku elektrona kroz materiju javlja se i efekat ekscitacije
- Uz ekscitaciju jonizujuće zračenje ima veliki uticaj na fizičko, hemijsko i biološko stanje



Jonizujuće zračenje- definicija

- **Jonizujuće zračenje** je elektromagnetno ili čestično zračenje koje može da jonizuje materiju i izazove oštećenje ćelija
- 

Jonizujuće zračenje- podela

- ▶ I Elektromagnetno



gama zračenje i X zračenje

- ▶ II Korpuskularno (čestično)



alfa čestice, beta čestice, neutron-protoni




Elektromagnetno zračenje

- ▶ predstavljaju elektromagnetni talasi koji nastaju kada elektroni pod dejstvom spoljne sile promenu kretanje unutar ili izvan atoma uz oslobađanje energije u vidu zračenja različite prirode

električni talasi

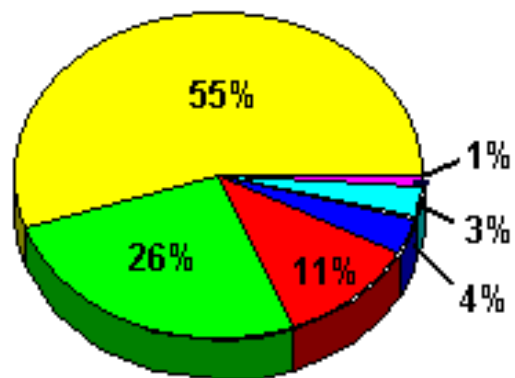
infracrveni zraci

ultraljubičasti zraci

- 
- Izvori jonizujućih zračenja mogu biti:
 - prirodni – iz radioaktivnih elementa (radijum- Ra^{226} , uran- U^{238}) i njihova jedinjenja, kosmički zraci, svi prirodni procesi jonizacije...
 - veštački – radioaktivni izotopi, rendgen aparati, nuklearni reaktori, centrale, akceleratori...;

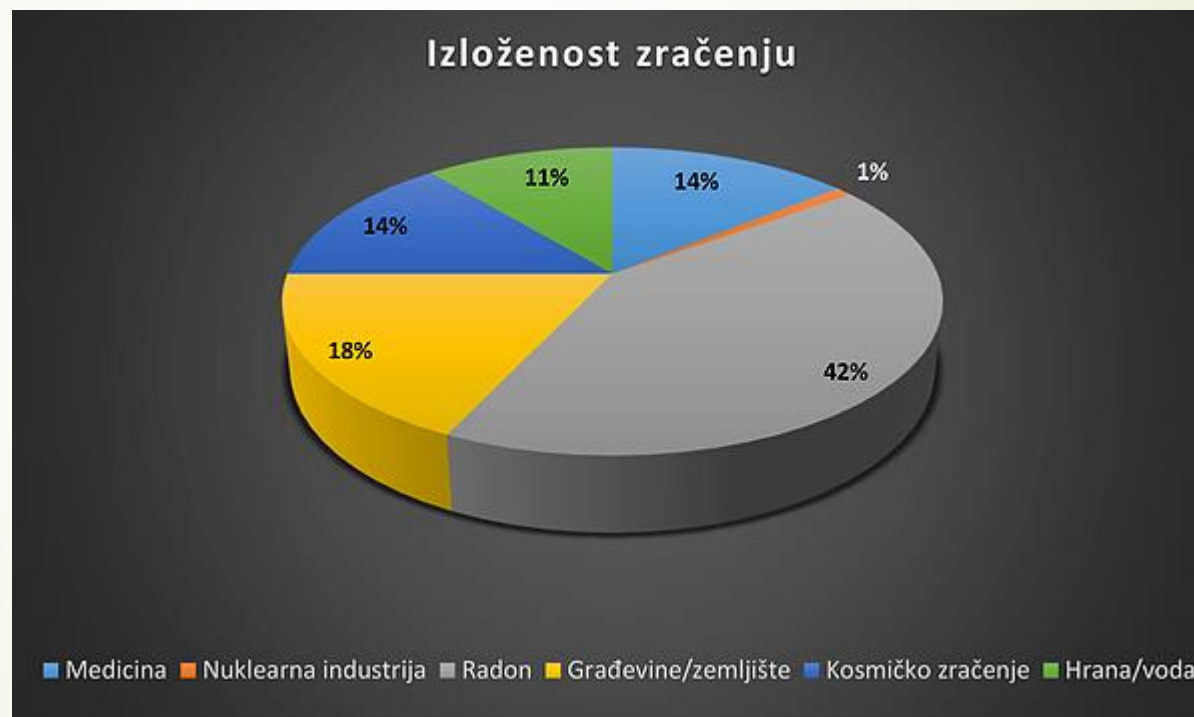
Izvori zračenja u prirodi



ИЗВОРИ ЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА



- РАДОН
- ПРИРОДНИ ИЗВОРИ (БЕЗ РАДОНА)
- РЕНДГЕН ЗРАЧЕЊЕ У МЕДИЦИНИ
- РАДИОТЕРАПИЈА У МЕДИЦИНИ
- ПОТРОШАЧКИ ПРОИЗВОДИ
- ОСТАЛО

Izloženost zračenju



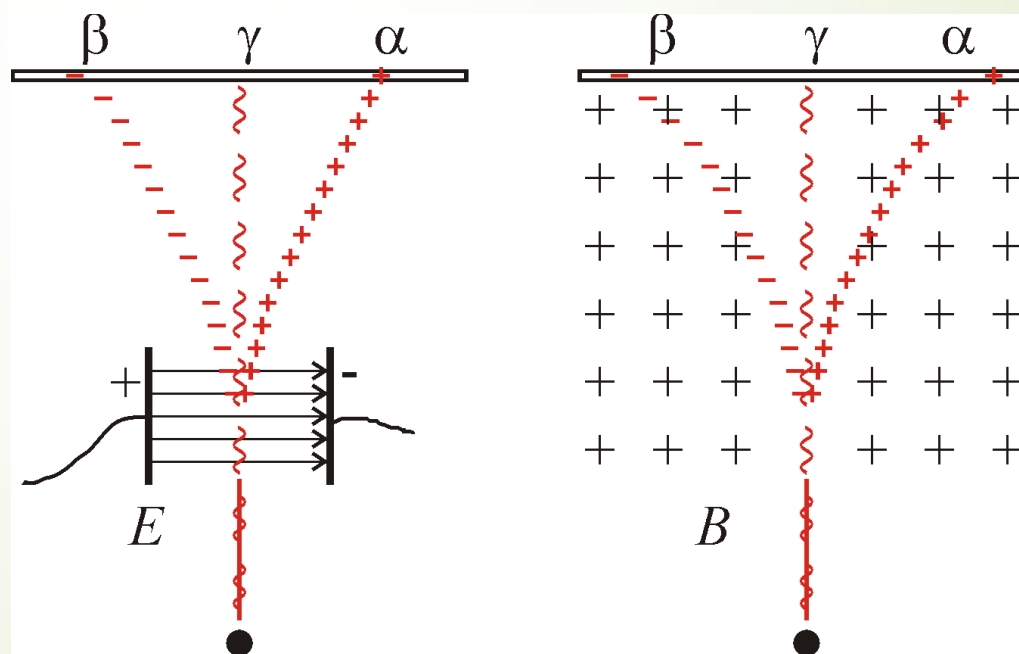
- 
- 
- ▶ Jonizujući X zraci, γ zraci, α , β , protonske, neutronske i druge čestice nastaju **iz sfere jednog atoma;**
 - ▶ X-zraci nastaju kao posledica ubrzanog kretanja elektrona, ili prelaskom elektrona sa jednog nivoa na drugi.
 - ▶ γ zraci, α , β , protonske, neutronske i druge čestice nastaju kao posledica nestabilnosti jezgara i predstavljaju produkt radioaktivnog raspada jezgara i zovu se radioaktivnim zračenjem

RADIOAKTIVNO ZRAČENJE

- Pojavu radioaktivnosti otkrio je Bekerel 1896. godine u solima urana;
- Nakon niza eksperimenata zaključio je da se to zračenje spontano emituje, da potiče iz jezgra, da je prodorno, da zacrnjuje fotografsku emulziju i da jonizuje gasove.
- **Takva spontana emisija zračenja iz jezgra atoma nazvana je radioaktivnost.**
- Pjer i Marija Kiri (1898. god.) u uranovoj rudi uranitit (pehblendu) pronašli **polonijum i radijum** čije je zračenje 4x jače od u odnosu na zračenje soli urana.
- Ernest Rutherford je otkrio 1899. da se zračenje radijuma sastoji od dve koje se različito apsorbuju u materijalima .

- Onu vrstu zraka koje ne mogu da prođu kroz aluminijsku pločicu debljine 0,02 mm nazvao je alfa-česticama, a onu vrstu koja je prolazila i kroz deblje slojeve nazvao je beta-česticama.
- Na osnovu skretanja u magnetskom polju, utvrđeno je da alfa-čestice imaju pozitivan električni naboj, a beta-čestice negativan električni naboj.
- Paul Villard je 1900. otkrio još prodorniju komponentu zračenja, neutralne prirode –gama-zrake.

➔ S



Vrste radioaktivnog raspada

- Postoje **tri vrste radioaktivnog raspada**, prema vrsti zračenja koje se emituje:
 - **Alfa raspad**
 - **Beta raspad**
 1. **Elektronski - beta minus raspad**
 2. **Pozitronski - beta plus raspad**
 3. **Elektronski zahvat**
 - **Gama raspad**
- U radioaktivnim raspadima jezgara važe zakoni održanja: mase/energije, naelektrisanja, količine kretanja i momenta količine kretanja, zakon održanja broja nukleona i drugi

OSNOVNE KARAKTERISTIKE RADIOAKTIVNOG RASPADANJA

- Marie Curie-Skłodowska otkrila je 1898. da se na radioaktivno zračenje kod torijumovih jedinjenja ne može uticati električnom strujom, zagrevanjem, hemijskim reakcijama i sl., i da je verovatnoća raspada nezavisna od starosti pojedinog atoma.
- *Osnovne karakterisike raspada su:*
 - **Statističke je prirode**
 - **I ne može se uticati na brzinu raspada na bilo koji način.**
- *Veličine koje opisuju radioaktivni raspad su:*
 - **Konstantna radspada - λ**
 - **Period poluraspada - $T_{1/2}$**
 - **Srednje vreme života - τ**

- **Radioaktivni raspad se opisuje zakonom radioaktivnog raspada.**

Brzina kojom se smanjuje (“-” u izrazu dole) broj jezgara tokom vremena, odnosno broj jezgara koji se raspada data je kao:

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

- Ako je N_0 – broj jezgara u početnom trenutku posmatranja a N – broj atoma koji je ostao posle nekog vremena t **zakon radioaktivnog raspada:** \Longrightarrow

- **λ - konstanta radioaktivnog raspada** – verovatnoća da se neki element raspade određenom brzinom – karakteristična veličina za svaki izotop, kako prirodni to $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ki.

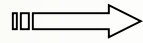
- **Aktivnost supstance – A** – broj raspadnutih jezgara u jedinici vremena tj. broj dezintegracija u jedinici vremena

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \Longrightarrow \quad A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad \Longrightarrow \quad A = A_0 e^{-\lambda t}$$

A_0 – aktivnost u početnom trenutku $t=0$.

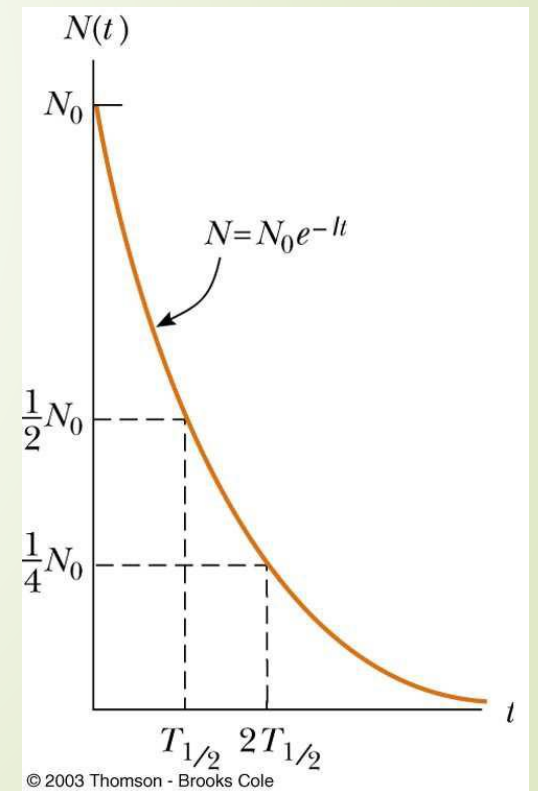
- Jedinica za aktivnost – Bq – raspad /s.
- U praksi se često koristi i jedinica Kiri: $1 \text{ Cu} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.
- Vreme koje je potrebno da se broj neraspadnutih atoma smanji na polovinu je **vreme poluraspada – $T_{1/2}$**

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$



$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

- **Srednje vreme života** - vremenska egzistencija svih jezgara podeljena sa ukupnim brojem jezgara





KORPUSKULARNO ZRAČENJE

- Vezano za radioaktivnost
 - Nestabilno jezgro teži da postane stabilno nuklearnom transformacijom pri čemu se izbacuju naelektrisane čestice (alfa, beta, gama)
- 

KORPUSKULARNO ZRAČENJE

- ▶ **Alfa čestice**

Jezgra helijuma. Velika masa, velika sposobnost jonozacije i mala prodorna moć.

- ▶ **Beta čestice**

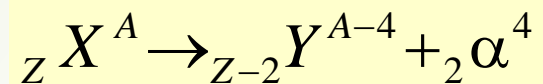
Elektroni. Imaju, malu masu, veliku sposobnost jonizacije i veliku prodornost

- ▶ **Gama zraci**

Elekromagnetni talasi, nemaju masu, velika sposobnost jonozacije, velika prodornost

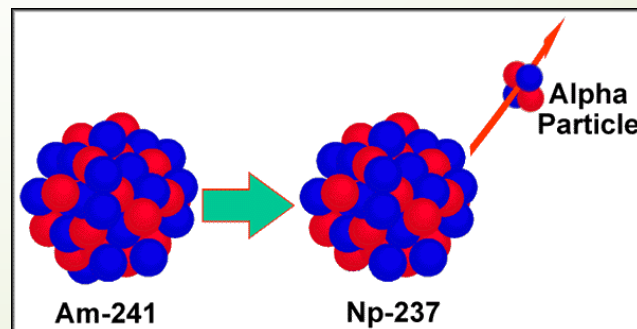
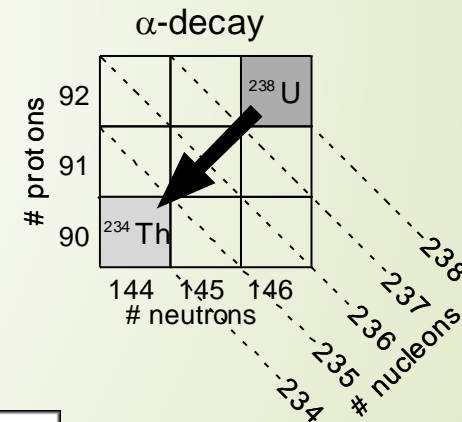
Alfa raspad

- U α -raspadu se emituje α -čestica (jezgro helijuma - He^{++}), pri čemu se dešava tzv. transmutacija jezgra, proces promene jednog u jezgro drugog elementa:



- Redni broj elementa se smanjuje $Z-2$, a atomski broj prelazi u $A-4$.
- Energija oslobođena u radioaktivnom raspadu

se raspodeljuje na kinetičke energije produkata raspada. Kinetičke energije α čestice kreću se od 5MeV do 9MeV.

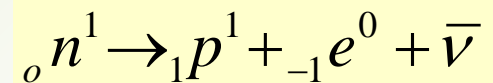


Beta zraci

- Brzi elektroni ili pozitroni koji zbog svog naelektrisanja skreću u električnom i magnetnom polju;
- Brzina beta zraka: do 99,8% brzine svetlosti;
- Imaju veliku prodornu moć zbog malih dimenzija i velike brzine;
- Domet u vazduhu je sto puta veći od dometa alfa čestica.
- Postoje tri tipa beta raspada:
 - **Elektronski - beta minus raspad**
 - **Pozitronski - beta plus raspad**
 - **Elektronski zahvat**
- Beta raspadi se objašnjavaju tzv. slabim interakcijama u prirodi, koje se javljaju isključivo kod ovakvih procesa.

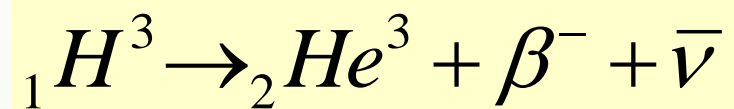
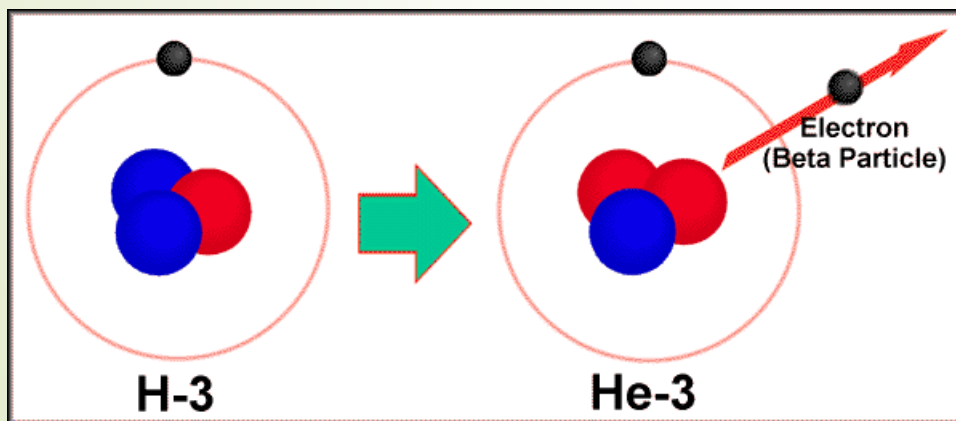
β^- - raspad ili elektronski raspad

- Pri ovom raspadu dolazi do konverzije neutrona u proton uz stvaranje elektronskog para, elektrona i antineutrina:



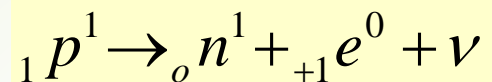
- raspad slobodnog neutrona ≈ 15 min
- Raspad jezgra: ${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z+1} Y^A + \beta^- + \bar{\nu}$
- Redni broj jezgra potomka se povećava za jedan u periodnom sistemu – $Z+1$.
- Maseni broj ostaje nepromenjen.

3	Li 6.941			Li 5 ~1E21s proton	Li 7.016
2	He 4.00260		He 3 0.00014%	He 4 99.99986%	He ~6E neu
1	H 1.0079	H 1 99.985%	H 2 0.015%	H 3 12.33y	
			n 1 10.4m		
		0	1	2	



β^+ - raspad ili pozitronski raspad

- Pri ovom raspadu dolazi do konverzije protona u neutrona uz stvaranje elektronskog para, pozitrona i neutrina:

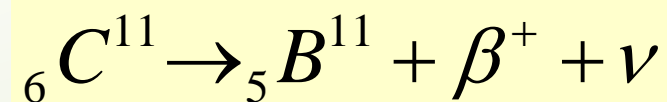
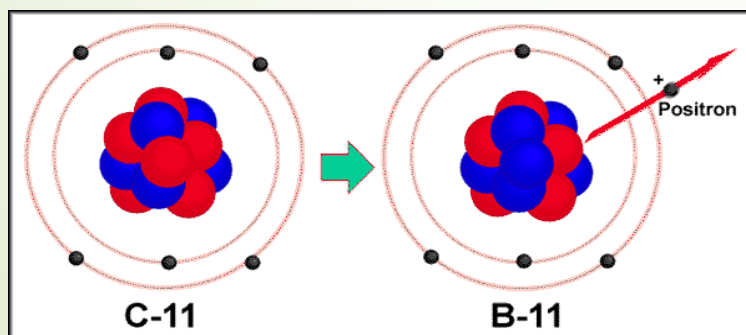


- raspad slobodnog protona $\approx 10^{33}$ god

- Raspad jezgra: ${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z-1} Y^A + \beta^+ + \nu$

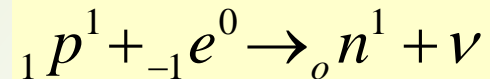
- Redni broj jezgra potomka se smanjuje za jedan u periodnom sistemu – Z-1 .
- Maseni broj ostaje nepromenjen.

		7	N 14.0057	
		6	C 12.011	C 9 127ms
5	B 10.81			B 8 770ms
4	Be 9.01218		Be 6 ~65-21s	Be 7 53.28d

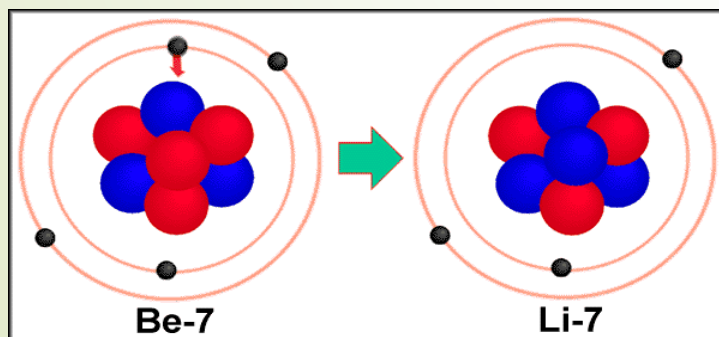


Elektronski e^- - zahvat

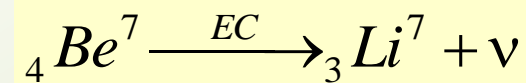
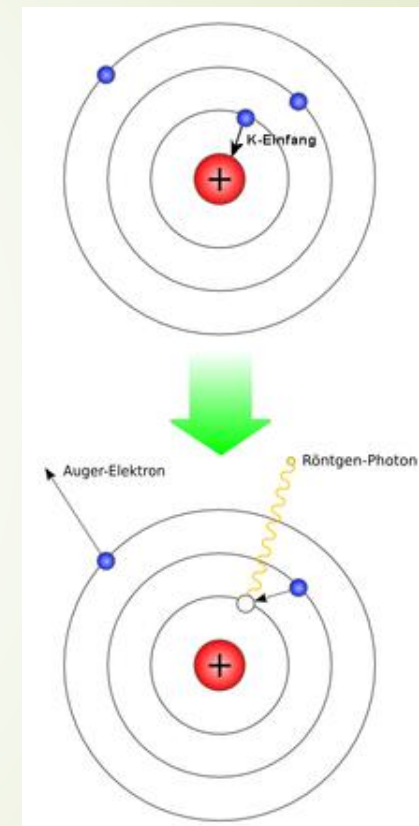
- Nestabilno jezgro "zahvata" elektron iz elektronskog omotača, najčešće sa K-ljuske i dolazi do konverzije protona u neutron uz emisiju jednog neutrina:



- Raspad jezgra: ${}_Z X^Z \xrightarrow{EC} {}_{Z-1} Y^A + \nu$
- Redni broj jezgra potomka se smanjuje za jedan - Z-1 kao kod β^+ - raspada.
- Maseni broj ostaje nepromenjen.
- Ovaj proces je verovatniji od pozitronskog raspada i praćen je emisijom X- zračenja ili Ože elektronima.



5	B 10.81		12.0
4	Be 9.01218		Be ~6E prob
3	Li 6.941		Li ~1E; prob
2	He 4.00260	He 3 0.00014%	He 99.999



Unutrašnja konverzija

- proces pri kojem emitovni gama kvant biva apsorbovan od strane nekog elektrona iz unutrašnje ljuske.
- Taj elektron napušta atom, njegovo mesto popunjava elektron sa višeg nivoa što je praćeno emisijom X zraka.
- Pri gama raspadu se redni i maseni brojevi atoma ne menjaju.

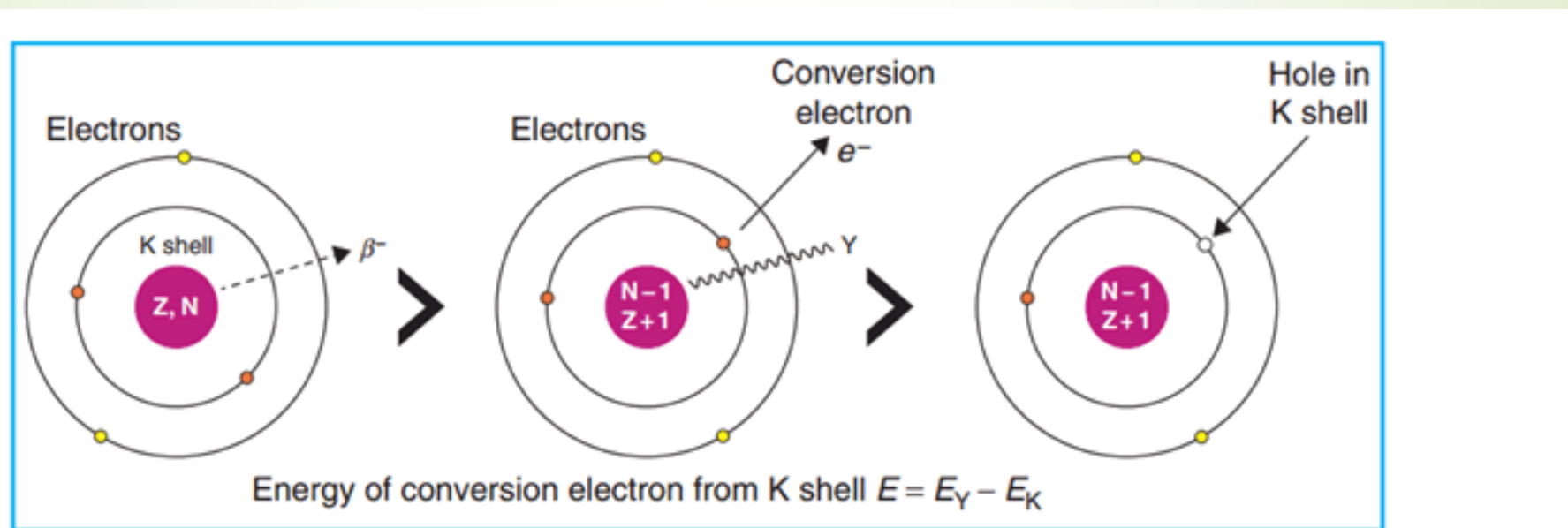
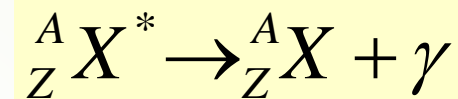
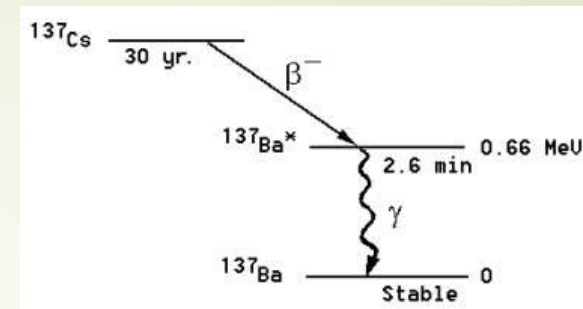


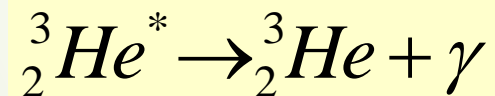
Figure 2.8. Schematic illustration of internal conversion. Left to right: The nucleus undergoes β^- decay and creates a daughter nucleus, which is still in the excited state and decays by γ emission. The γ ray could be absorbed by the atom, ejecting a K-shell electron of energy $(E_\gamma - E_K)$, thereby creating a vacancy in the K-shell orbit.

γ - radioaktivni raspad

- γ -raspad je prelaz jezgra iz pobuđenog u niže energetske ili osnovno stanje, što je praćeno emisijom visokoenergetskog γ -kvanta i tzv. Internom ili unutrašnjom konverzijom.

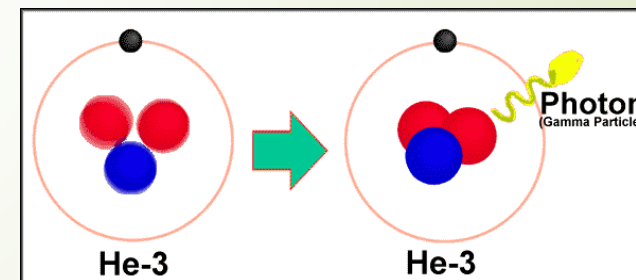


- Gama zraci su EM talasi visokih frekvencija i ne skreću u EM polju i imaju veliku prodornost;
- γ -raspad obično sledi nakon α - ili β -raspada, kada nastala jezgra nisu u osnovnom (stabilnom) stanju, već u nekom od pobuđenih stanja što je najčešći slučaj.



- U **zavisnosti** od energije postoje:

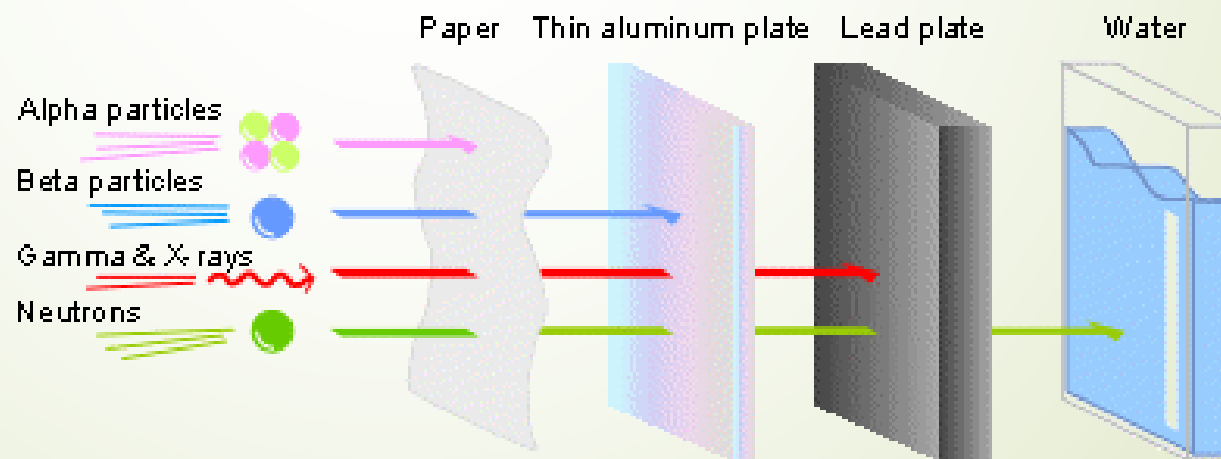
meki γ zraci (0,2 MeV), zraci **srednje tvrdoće** (0,2-1 MeV), **tvrdi γ zraci** (1-10 MeV) i **vrlo tvrdi γ zraci** (preko 10 MeV);



Interakcija radioaktivnog zračenja sa materijom

- Emitovano radioaktivno zračenje različito prodire kroz materiju.
- Pri prolasku radioaktivnog zračenja kroz materiju, dolazi do gubitka, tj. predaje energije apsorbujućem materijalu.
- **α -čestice** na svom putu (usled velike mase putanja im je prava linija) i dva puta pozitivnog nalektrisanja imaju veliki stepen jonizacije ili ekscituje sredine kroz koju prolaze, zbog čega **brzo gube energiju i imaju veoma mali domet.**
- Zaustavlja ih sloj papira, sloj izumrlih ćelija kože ili sloj vazduha od samo 10cm.
- Znatno veća opasnost od α -čestica preti ako se radioaktivni materijal koji ih emituje nalazi u živom organizmu, jer deluje na žive ćelije.

- **β -čestice (elektroni)** pri prolasku kroz materiju takođe vrše ekscitaciju (pobuđivanje) elektrona u orbitama atoma materije i/ili jonizaciju i imaju izlomljenu putanju.
- Pored toga, usled naglog usporavanja naelektrisanih β -čestica (elektroni ili pozitroni) emituje se i tzv. **zakočno X-zračenje**.
- Domet β -čestica u vazduhu ne prevazilazi nekoliko metara. Zaustavlja ih i tanak sloj pleksiglasa.
- Opasnost dolazi, međutim, od pratećeg zakočnog X-zračenja, kao i od γ -zračenja koje prati β -radioaktivni raspad i za njih treba birati teške materijale za zaštitu.
- Jonizaciona sposobnost beta zračenja 1000 puta manja nego kod alfa čestica.





Značaj

- Upotreba u dijagnostici i kod radiološkog lečenja
- Izvori jonizujućeg zračenja su:
 - rengen aparati
 - linearni akceleratori
 - betatroni,
 - izotopske mašine,
 - generatori protona, neutrona, teških jona

Interakcija sa materijom

- Kada X zraci prolaze kroz materiju može da dođe do:
 1. potpune apsorpcije u tkivu jednog dela snopa i da potpuno nestane iz snopa
 2. nepromenjenosti snopa nakon prolaska kroz tkivo
 3. interakcije sa atomima materije



Interakcija sa materijom

- Postoji nekoliko vidova interakcije snopa X zraka i materije:
 1. koherentno rasejanje
 2. fotoelektrični efekat
 3. Komptonovo rasejanje
 4. stvaranje elektronskog para
 5. fotodezintegracija

Interakcija sa materijom

-Koherentno rasejanje

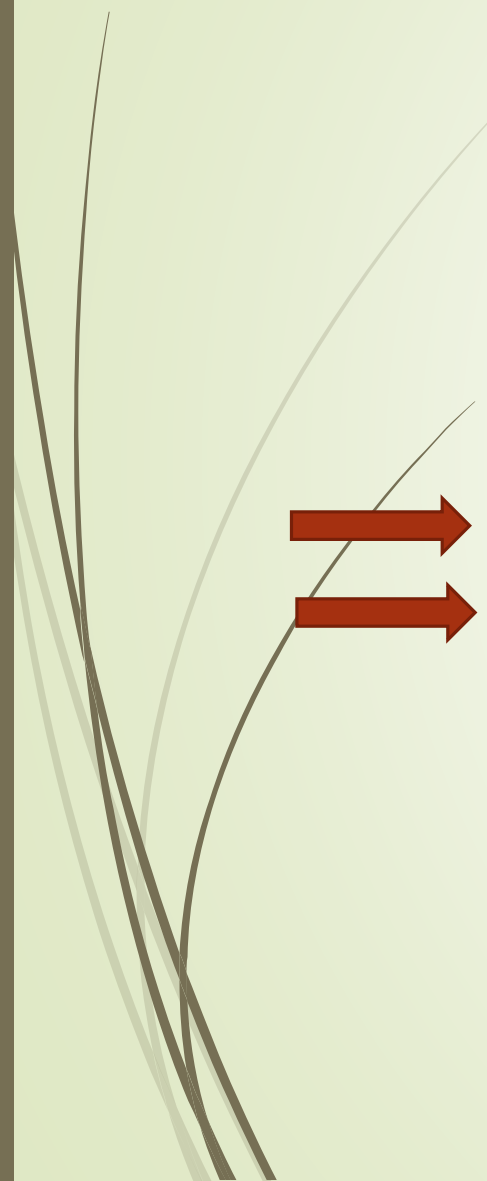
- Osnovna karakteristika : delimična promena pravca kretanja fotona X-zraka nakon intereakcije sa elektronom atoma materije
- Kod intereakcije ovog tipa materije i X zraka talasna dužina odnosno energija fotona ostaje nepromenjena

↳ nemodifikovano nepromenjeno rasejanje
Tomsonovo i Rejljevo rasejanje



Interakcija sa materijom

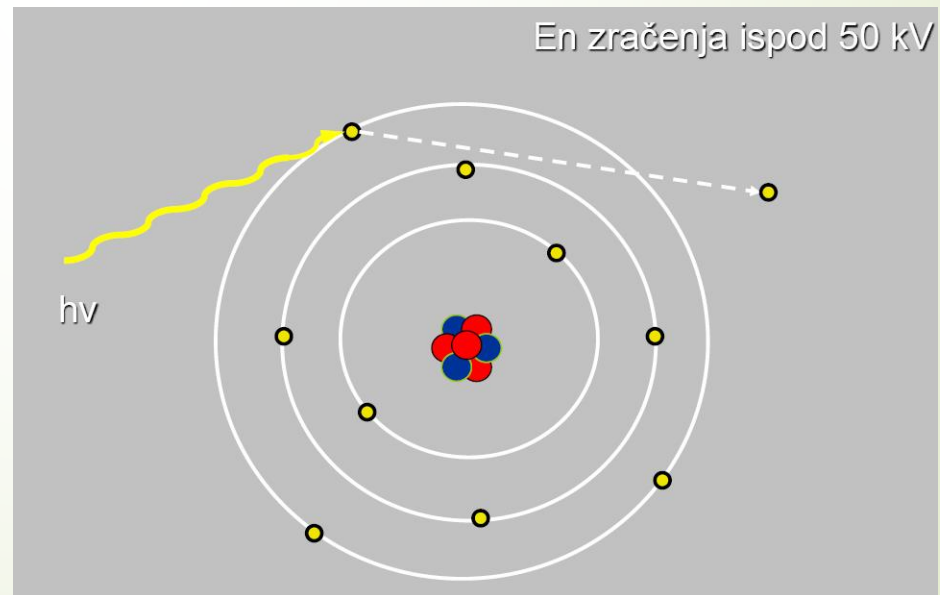
-Fotoelektrični efekat

- ▶ Ulaskom u periferiju atoma, foton X zraka veće energije od energije vezivanja elektrona u putanji K sudara se sa jednim od elektrona iz ove putanje i izbacuje ga
 - ▶ Pri tom sudaru foton predaje celokupno energiju elektrona i nestaje
 - ▶ deo energije troši se za raskidanje veze elektrona za jezgro
 - ▶ deo energije je kinetička energija fotona
 - ▶ Oslobođeni elektron napušta atom i odlazi u prostor kao fotoelektron
 - ▶ Na mesto izbačenog elektrona iz orbite atoma tkiva sa neke od nižih energetske putanja njegovo mesto zauzima drugi elektron uz emisiju fotona karakteristične energije (razlika energetske nivoa)
- 

Interakcija sa materijom

-Fotoelektričan efekat

- ▶ Fotoelektrični efekat je potpuna absorpcija X zraka.
- ▶ Karakteristično zračenje zato što su energetske nivoe strogo definisani i količina ostobodene energije je karakteristična za određeni element





Interakcija sa materijom

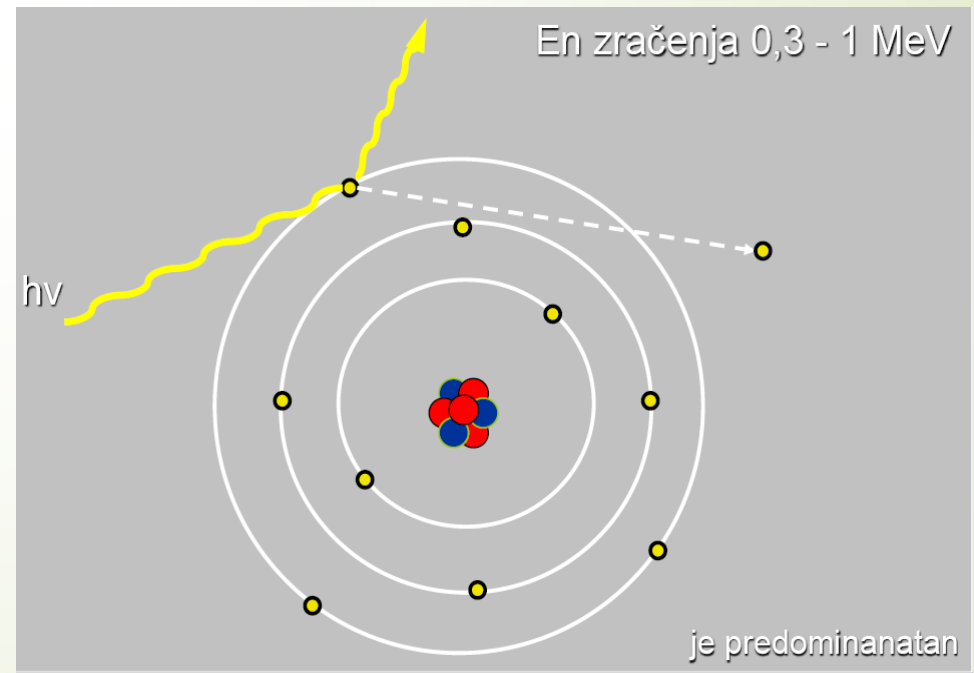
-Komptonovo rasejanje

- Nastaje u interakciji fotona X zraka i elektrona koji se nalaze na udaljenim putanjama atoma prozračene materije
- Potrebna energija za pojavu ove vrste rasejanja mora biti veća od energije kojima se elektroni održavaju u svojim putanjama
- Koliko će biti odstupanje od inicijalne putanje fotona X zraka zavisi od energije koju je foton zadržao
- Skretanje će biti manje ukoliko je fotonu preostalo više energije

Interakcija sa materijom

-Komptonovo rasejanje

- Verovatnoća pojave Komptonovog efekta zavisi od:
 - energije ulaznog fotona X zraka
 - ukupnog broja elektrona u atomu

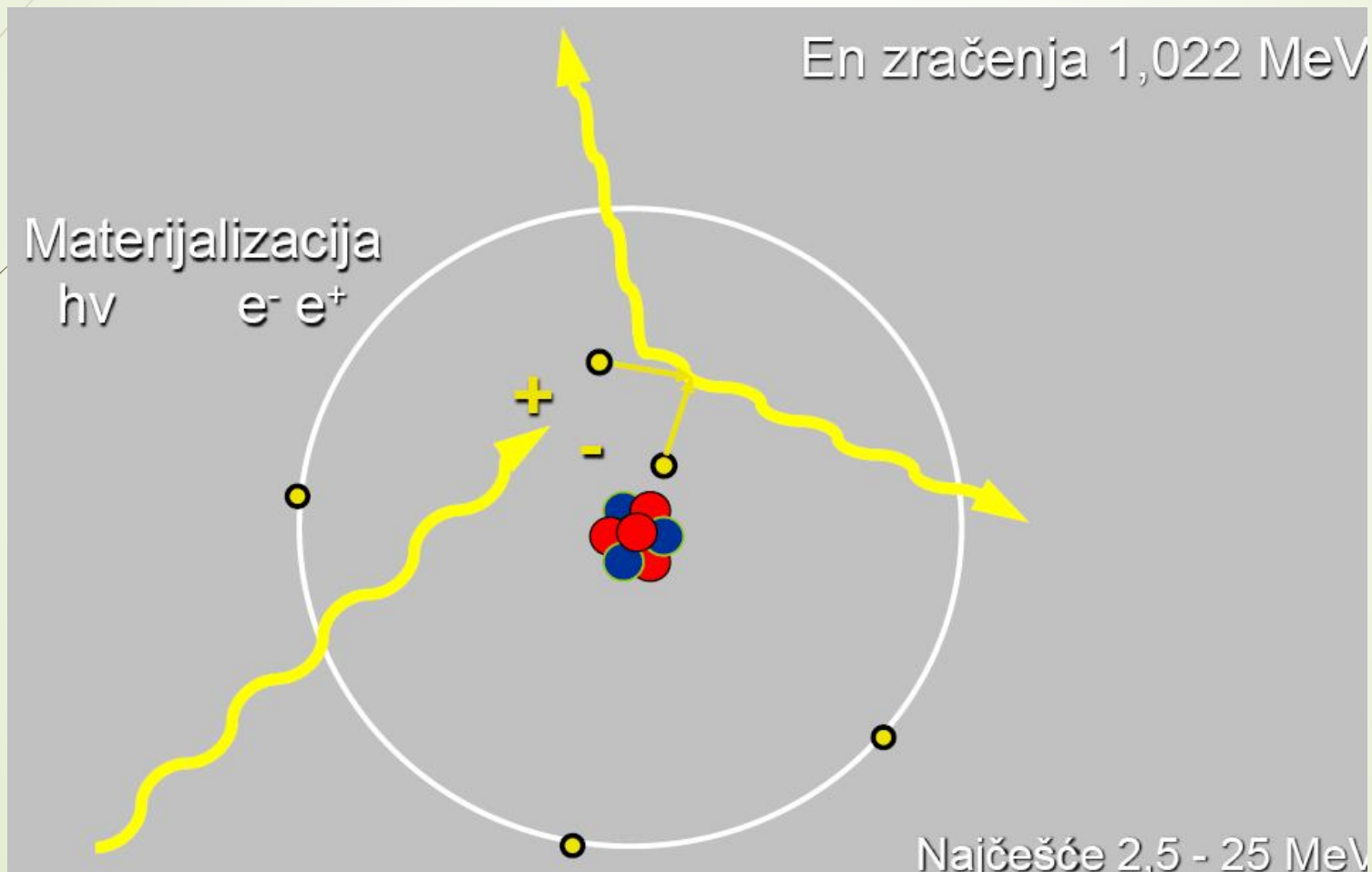




Interakcija sa materijom -stvaranje elektronskog para

- ▶ Proizvodnja elektronskog para nije usko vezana za efekte X zraka jer je za to potrebna velika energija zraka od najmanje 1.02 MeV koju nema X zrak
- ▶ Kada foton energije preko 1.02 MeV dođe u dodir sa jezgom on gubi energiju nestaje i biva zamenjen parom elektron-pozitron. Positron i elektron imaju istu masu samo suprotna naelektrisanja (elektron negativno a pozitron pozitivno) oba nastavljaju put u materiji. Ako pozitron naiđe na elektrone okoline on se spaja sa njim u procesu koji se naziva anihilacija i emituje se foton energije 0.511 MeV koja se može precizno detektovati

Interakcija sa materijom - stvaranje elektronskog para





Interakcija sa materijom -fotodezintegracija

- ▶ Proces suprotan stvaranju elektronskog para
- ▶ Tokom dezintegracije materije zbog promena unutar jezgra menja se struktura atoma
- ▶ Za ovaj vid interakcije X zračenja i materij neophodno je da energija fotona X zraka bude veća od energije nuklearnih sila kojima se nuklearne čestice održavaju u jezgru
- ▶ Pri sudaru sa česticama jezgra atoma zahvaljujući energiji koju poseduje, foton odvaja deo mase jezgra (neutron, proton, alfa čestice)
- ▶ U zavisnosti od vrste čestica koje su izbačene iz jezgra kao posledica fotodezintegracije mogu nastati nestabilna jezgra, joni ili potpuno novi elementi



Interakcija sa materijom

Fotoelektrični efekat

$$E < 35 \text{ kV}$$

primena: RTG aparati

Komptonov efekat

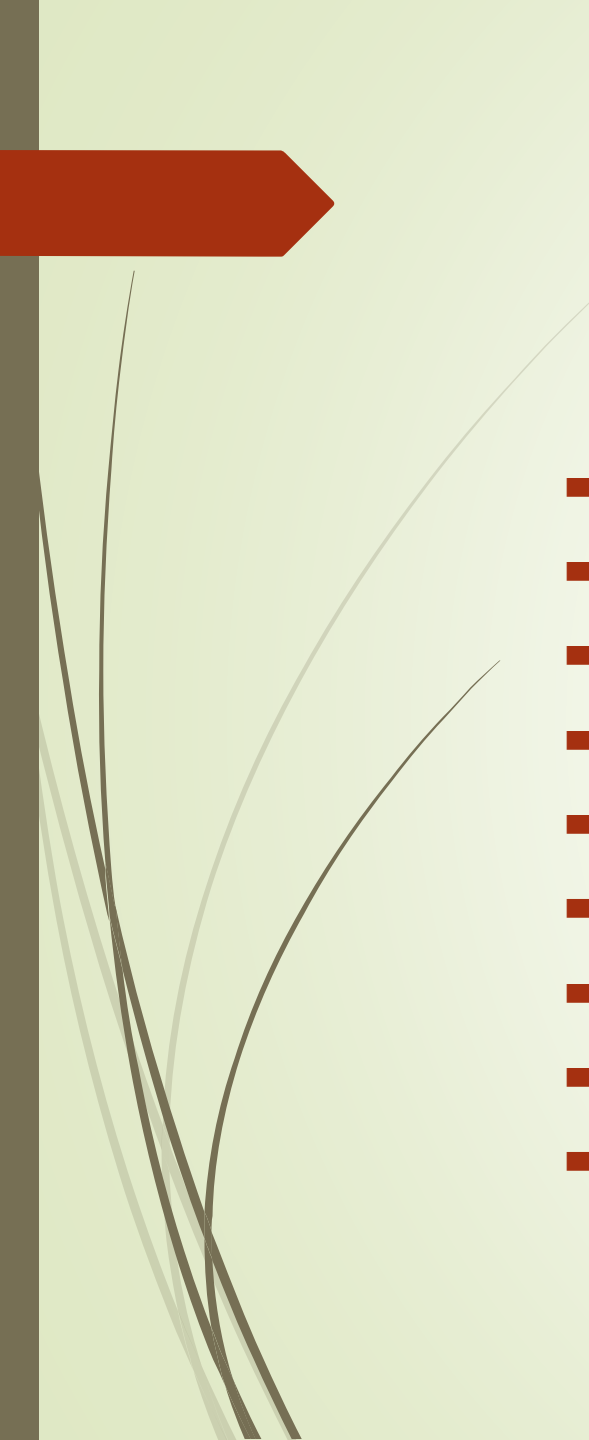
$$35 \text{ kV} > E < 50 \text{ MV}$$

primena: radioterapija

Stvaranje para

$$E > 1.02 \text{ MeV}$$

primena: PET\CT aparat

- 
- <https://www.youtube.com/watch?v=7AveUvfboJk>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=gsV7SJDDCY4>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=0b0axfyJ4oo>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=OfdkiRY73bg>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=QsCmslcSIEs>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=meYIIYgHROQ>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=lzuiPoJffV4>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=ACtGfBMPkBQ>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=tsAQL1DieR0>



Hvala na pažnji!