

Физичка хемија 2

за студијски програм Хемичар (022Н1)

шк. 2019/2020

1. Атомско језгро. Радиоактивност. Нуклеарне реакције.

Фебруар 2020.

Др Гордана Ћирић-Марјановић, редовни професор

Циљ предмета:

СТИЦАЊЕ ОСНОВНИХ ЗНАЊА О СТРУКТУРИ И СВОЈСТВИМА МАТЕРИЈЕ: о структури и својствима атома и молекула, о структури атомског језгра и радиоактивности, о хемијској вези (са становишта квантне механике), о атомским и молекулским спектрима (спектроскопским прелазима, типовима и карактеристикама спектра), о структури и својствима чврстог и течног стања, колоида и макромолекула, о својствима граница фаза и адсорпцији.

Број ESPB = 7

Литература:

- Г. Ђирић-Марјановић, Предавања из Физичке хемије 2 (скрипта, PowerPoint презентације са предавања и примери питања/тестова - материјал на страници предмета на сајту Хемијског факултета).
- W. J. Moore, Физичка хемија, Научна књига, Београд, 1962. (друго издање, превод са енглеског М. Симић)
- P. W. Atkins, Physical Chemistry (sixth edition), Oxford University Press, 1998.
- Д. Минић, А. Антић-Јовановић, Физичка хемија, Факултет за физичку хемију и Биолошки факултет универзитета у Београду, Београд, 2005.
- Радна свеска из физичке хемије са упутствима за вежбе, Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију, Београд 2006. група аутора са Катедре за општу и физичку хемију
- Примери решених задатака за колоквијуме (на страници предмета сајта Хемијског факултета)

Помоћна литература

- А. Антић-Јовановић, Атомска спектроскопија-спектрохемијски аспект, Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду, Београд, 1999.
- А. Антић-Јовановић, Молекулска спектроскопија-спектрохемијски аспект, Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду, Београд, 2002.
- С. Мацура, Ј. Радић-Перић, Атомистика, Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду, Београд, 2004.
- И. Драганић, Радиоактивни изотопи и зрачења, књиге I и II, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке "Борис Кидрич", Винча, Београд 1981 (књига I), 1985 (књига II).

Број часова активне наставе (недељно):	Предавања: 3	Лаб. вежбе: 3
Методе извођења наставе: Предавања, експерименталне вежбе, тестови за вежбање, консултације.		

Оцена знања (укупно 100 поена)

Предиспитне обавезе	Поена	Завршни испит	Поена
Предавања:	5	Писмени испит:	15
Лабораторијске вежбе:	30 (10п. за урађене вежбе + 20 п. за колоквијуме)	Усмени испит	30
Наставни колоквијуми:	20 (2 колоквијума, сваки по 10 поена)		

Садржај предмета и оријентациони план предавања по седмицама

1. и 2. седмица: Атомско језгро. Радиоактивност. Нуклеарне реакције. Примене радиоизотопа.

Одређивање односа наелектрисања и масе честица, основе масене спектрометрије.

Електромагнетни спектар. Таласно-честични дуализам. Борови постулати. Оптички спектри атома. Спектар атома водоника-Борово тумачење. Спектри јона сличних водонику. Рендгенско зрачење и рендгенски спектри.

3. седмица: Хајзенберг-ов принцип неодређености. Квантна механика: Таласна функција. Шредингерова једначина. Борнова интерпретација таласне функције. Решење Шредингерове једначине за водоников атом. Појам атомске орбитале. Квантни бројеви. Дегенерација енергетских нивоа атома водоника и чланова водониковог изоелектронског низа.

4. седмица: Векторски модел атома. Радијална функција расподеле, највероватнији радијус атома, s, p, d атомске орбитале. Спектроскопски прелази, изборна правила за атом водоника и њему сличне јоне, спектралне серије атома водоника-према квантној теорији.

5. седмица: Структура и спектри атома са више електрона, Шредингерова једначина за вишеелектронске атоме.

Електронска конфигурација атома и основни принципи изградње Периодног система. Спектри вишеелектронских атома.

Спектри атома алкалних метала.

.....1 наставни колоквијум.....

6. и 7. седмица: Хемијска веза и структура молекула: Борн-Опенхајмерова апроксимација. Теорија валентне везе; Хибридизација. Молекулско-орбитална теорија (молекулски јон H_2^+ , линеарна комбинација атомских орбитала, везивне и антивезивне орбитале, молекули H_2 , He_2 , двоатомски молекули II Периоде, σ и π орбитале, интеграл преклапања, својства симетрије молекулских орбитала, хетеронуклеарни двоатомски молекули- поларна веза, електронегативност).

8. и 9. седмица: Молекулска спектроскопија: Ротациони спектри. Вибрациони спектри. Вибрационо-ротациони спектри Електронски спектри. Флуоресцентни и фосфоресцентни спектри. Фотохемијске реакције.

..... 2. наставни колоквијум

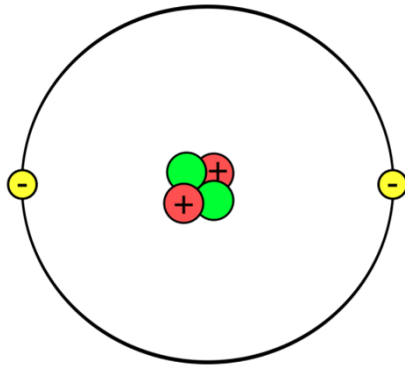
10. седмица: Електричне особине молекула. Међумолекулске силе. Магнетне особине молекула.

11. седмица: Чврсто стање (аморфно и кристално стање; структура кристала; јонски, метални, ковалентни и молекулски кристали; метална веза, метали, полупроводници, изолатори). Адсорпција (адсорпција гасова на чврстим супстанцијама, физичка и хемијска адсорпција, адсорпционе изотерме).

12. седмица: Течно стање (напон паре, вискозност, површински напон, капиларне појаве, адсорпција на граници течност-гас, Гибс-ова адсорпциона изотерма).

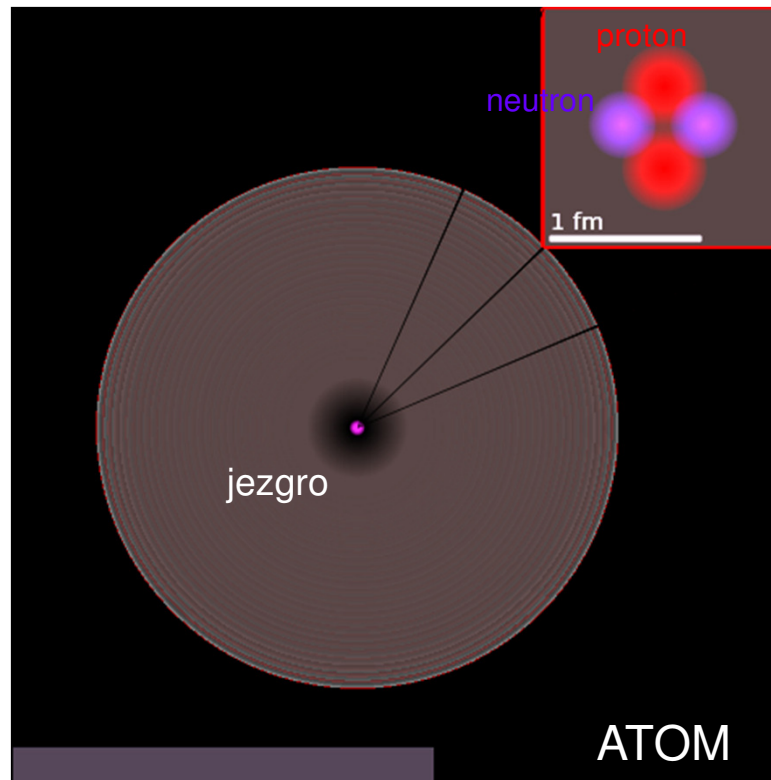
13. седмица: Колоидно стање. Макромолекули.

Atomsko jezgro



Atom He – u jezgu su 2 protona ($Z=2$) i najčešće 2 neutrona, a oko jezgra su 2 elektrona

Protoni i neutroni -
nuklearne čestice, nukleoni



- protoni i neutroni u jezgu uzajamno interaguju jakim **nuklearnim silama**
- nuklearne sile deluju **na rastojanju $< 10^{-15}$ m** (tj. manjem od femtometra, **fm**) između svih parova nukleona: protona i protona (**p-p**), protona i neutrona (**p-n**) i neutrona i neutrona (**n-n**).
- nuklearne sile su **privlačne** i istog su intenziteta za sve navedene parove čestica.
- Između dva protona postoje i odbojne sile, koje su oko 100 puta slabije od privlačnih nuklearnih sila.
- Prečnik atomskog jezgra** je **$\sim 10^{-15}$ m**

Oko jezgra se kreću **elektroni**, čije je naelektrisanje $1e = 1,6 \times 10^{-19}$ C (jedinično naelektrisanje), a masa $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg (oko 1840 puta manja od mase nukleona-protona i elektrona)

Proton je čestica mase $m_p = 1,6724 \times 10^{-27} \text{ kg}$ i pozitivnog naelektrisanja od $+1e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (elementarno naelektrisanje).
Simbol za proton je **p**.

Neutron ima masu $m_n = 1,6748 \times 10^{-27} \text{ kg}$, nema naelektrisanje - to je neutralna čestica.
Simbol za neutron je **n**.
Slobodan neutron je nestabilan i spontano se transformiše u proton, elektron i antineutrino.

Pozitron je čestica mase jednake mase elektrona, naelektrisanje je $+1e$ ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
Simbol za pozitron je **e⁺**.
Pozitroni se emituju u procesu **beta plus (β^+) raspada**.

Neutrino prema standardnom modelu fizike čestica ima masu mirovanja nula, dok neki noviji eksperimenti ukazuju da neutrino ima (vrlo malu) masu (oko 500.000 puta manju od mase elektrona), <http://hitoshi.berkeley.edu/neutrino/PhysicsWorld.pdf>
<https://www.nature.com/articles/d41586-019-02786-z>

Neutrino nema naelektrisanje. Kreće se brzinom približnom brzini svetlosti (c) i jedna od najzastupljenijih subatomske čestice u Univerzumu.

Simbol za neutrino je **ν** ($\bar{\nu}$).

Neutrino je stabilan i kada jednom nastane više ne interaguje sa materijom, zbog čega je prolaz neutrina kroz materiju veoma teško detektovati odnosno teško je realizovati njegova direktna merenja.

Emituje se u procesu **β^+ raspada** nestabilnog jezgra.

Antineutrino je antičestica neutrinu. Emituje se u procesu **β^- raspada** nestabilnog jezgra.

Simbol za antineutrino je **$\bar{\nu}$**

Najvažnije **karakteristike atomskog jezgra** su:

1. Ukupan broj nukleona - maseni broj A ($A = Z + N$)
2. Ukupan broj protona - redni (atomski) broj Z .
3. Ukupan broj neutrona N ($N = A - Z$).
4. **Energija veze po nukleonu**- to je srednja energija potrebna za odvajanje jednog nukleona od jezgra.
5. **Stabilnost jezgra**

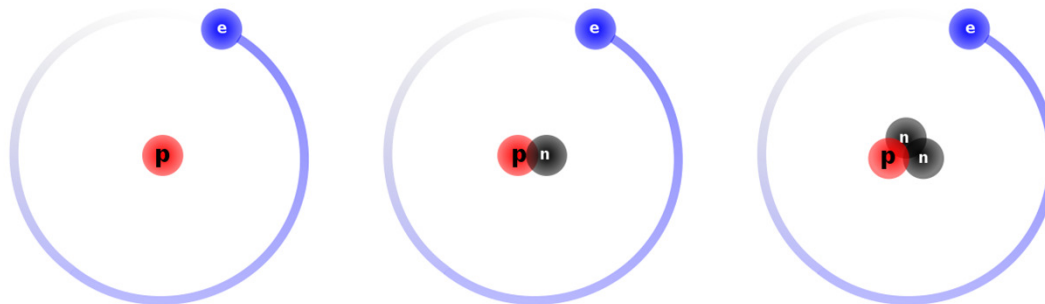
Izotopi su jezgra nekog elementa koja imaju **isti redni broj Z , a različit broj neutrona N .**

-u pogledu hemijskog ponašanja izotopi **predstavljaju iste atome.**

-poznato je 270 stabilnih izotopa.

Izotop se označava oznakom: ${}^A_Z \text{HEMIJSKI SIMBOL}_N$

a često i samo oznakom: ${}^A \text{HEMIJSKI SIMBOL}$



3 prirodna
izotopa vodonika:

Protium (A=1)

Deuterijum (A=2)

Tricijum (A=3)

Energija veze jezgra i defekt mase

Moglo bi se očekivati da je ukupna masa jezgra $M(Z,N)$ jednaka:

$$M(Z,N) = Z m_p + N m_n$$

Međutim, **stvarna masa jezgra je manja** od ove vrednosti za iznos $\Delta M(Z,N)$ koja se naziva **defekt mase**.

Defekt mase pomnožen sa c^2 daje **ukupnu energiju veze jezgra $W(Z,N)$** :

$$\Delta M(Z,N) \cdot c^2 = W(Z,N)$$

Ukupna energija veze je energija koja se oslobodi prilikom formiranja jezgra, odnosno, da bi se jezgro rastavilo na slobodne nukleone potrebno je uložiti energiju $\Delta M(Z,N) c^2$ (na savladavanje nuklearnih sila).

Energija veze po nukleonu $B(Z,N)$ dobija se deljenjem ukupne energije veze jezgra sa brojem nukleona (masenim brojem):

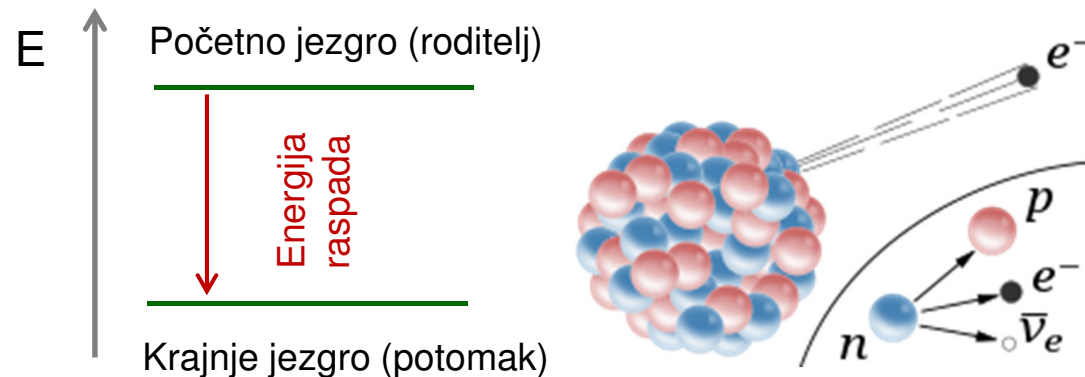
$$\frac{W(Z,N)}{Z+N} = B(Z,N)$$

Stabilnost jezgra

Ako je u početnom jezgru (jezgro-roditelj) ukupna energija veća od energije u krajnjem jezgru (jezgro-potomak), odnosno ukoliko je **ukupna energija veze u početnom jezgru manja nego u krajnjem**, tada dolazi do spontanog **raspada jezgra**, takvo jezgro je **nestabilno**.

Pojava nestabilnosti jezgra zove se **radioaktivnost**.

Transformacije koje trpe radioaktivni izotopi zovu se **radioaktivni raspad**.



Prema zakonu o održanju energije, energiju raspada odnose čestice koje se emituju u raspadu; energija raspada jednaka je energiji emitovanog zračenja.

Nestabilno jezgro se može okarakterisati:

- vremenom poluraspada** ($T_{1/2}$), koje predstavlja vreme u toku kojeg polovina svih jezgara prisutnih u početnom trenutku pretrpi raspad
- vrstama zračenja** emitovanih pri raspadu
- energijama emitovanih zračenja**
- intenzitetima emitovanih zračenja**

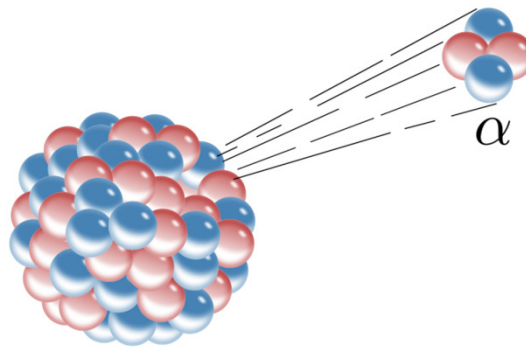
Vrste radioaktivnih raspada

1. **Alfa raspad**
2. **Beta raspadi: beta-minus raspad, beta-plus raspad i elektronski zahvat**
3. **Spontana fisija**
4. **Gama raspad**

Alfa raspad, beta raspadi i spontana fisija praćeni su emisijom odgovarajućih čestica, tzv. radioaktivnog zračenja. Pri ovim raspadima dolazi do stvaranja izotopa drugog elementa, tzv. **transmutacije elemenata**. U svakom radioaktivnom raspadu **menja se broj protona u jezgri**, a broj elektrona u atomu se ovome odmah prilagođava. Dakle, svaki raspad daje atom izotopa drugog elementa.

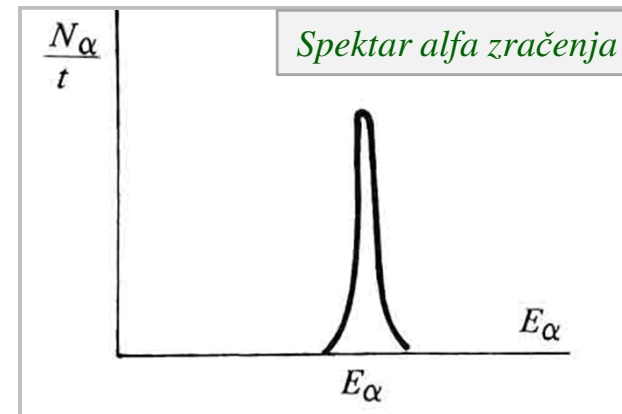
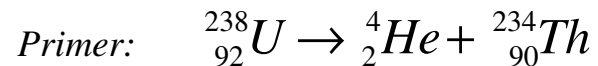
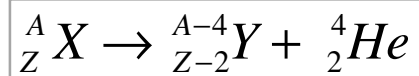
Gama raspad je praćen emisijom fotona i ne predstavlja pravi raspad, jer u njemu jezgro ne trpi nikakvu promenu osim energetske.

Alfa raspad



Alfa čestica je jezgro atoma helijuma, koje sadrži 2 protona i 2 neutrona, ${}^4\text{He}$
Alfa čestica je pozitivno naelektrisana čestica, naelektrisanja 2+

Pri alfa raspadu emituje se α čestica, pri čemu se **maseni broj jezgra smanjuje za 4, a redni broj se smanjuje za 2**. Drugim rečima, element se pomera za dva mesta ulevo u Periodnom sistemu:

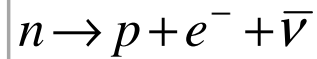


- Najveći deo energije alfa raspada odnosi sama α čestica.
- Energija α zračenja je 4–10 MeV, a brzina $v \sim 0,05c$, gde je c brzina svetlosti.
- Alfa zračenje ima oko 100 puta manju prodornost od β zračenja.
- Alfa zračenje se kroz gasove kreće pravolinijski.
- Energija α zračenja je precizno definisana, spektar ovog zračenja je linijski.

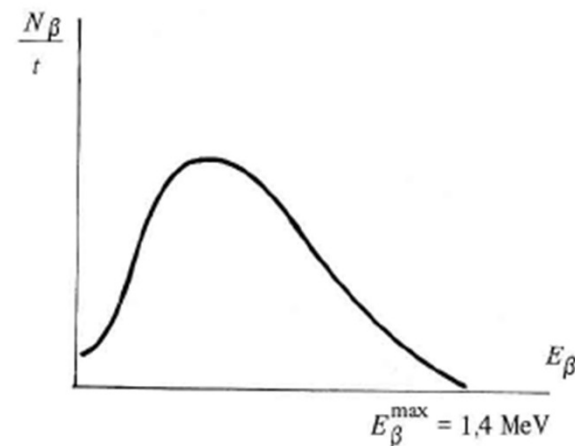
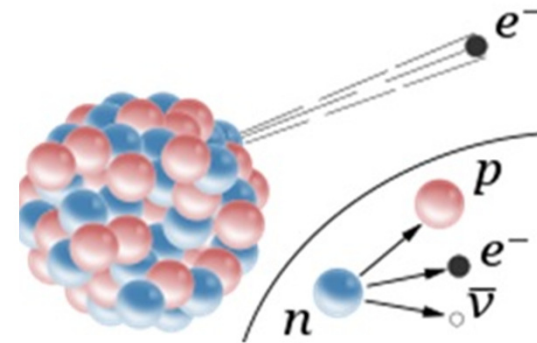
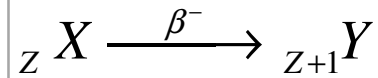
Beta-minus raspad

Beta-minus (β^-) čestica je elektron, odnosno elektroni su **beta-minus zraci**.

Pri beta-minus raspadu, **neutron se transformiše u proton**, koji ostaje u jezgru, a jezgro **napuštaju elektron i antineutrino**:



Pri ovom raspadu **redni broj izotopa raste za jedan**, tj.:

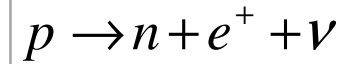


Spektar β^- zračenja je kontinualan jer energiju raspada dele elektron i antineutrino, ali ne uvek na isti način.

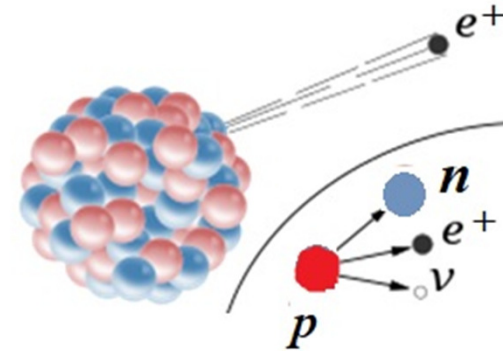
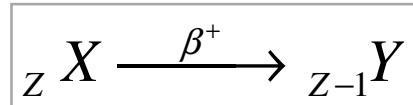
Maksimalna energija u spektru ovog zračenja je $\sim 5 \text{ MeV}$, a brzine β^- čestica su $(0,3-0,99)c$.

Beta-plus raspad (pozitronski)

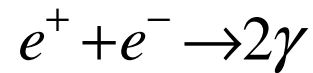
Kod beta-plus raspada **jedan proton se transformiše u neutron**, koji ostaje vezan u jezgri, a jezgro napuštaju **pozitron (β^+ čestica, e^+)** i **neutrino**:



Pri ovom raspadu **redni broj izotopa smanjuje se za jedan**, tj.:



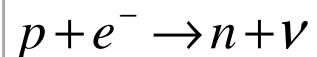
Prolazeći kroz materiju pozitroni se susreću sa slobodnim elektronima i nestaju u procesu **anihilacije** u kome pozitron i elektron daju **dva gama zraka**:



Energija svakog gama fotona je 511 keV.

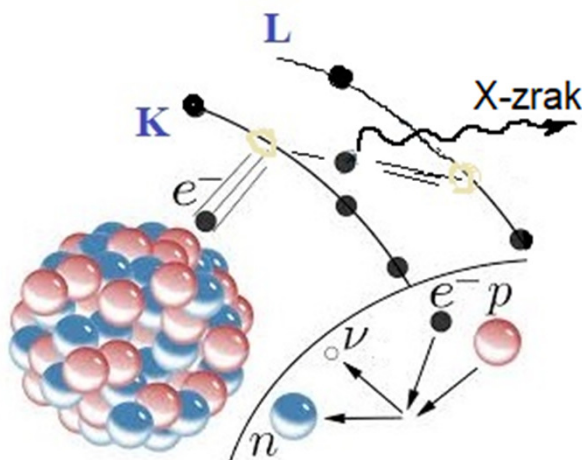
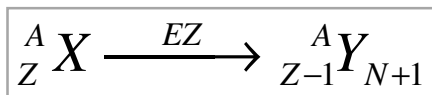
Elektronski zahvat (EZ)

U elektronskom zahvatu, jedan od elektrona iz unutrašnje ljuske, obično iz K ljuske, biva zahvaćen od strane jednog protona iz jezgra. **Proton se pri tome transformiše u neutron, a iz jezgra se emituje samo neutrino:**



Upraznjeno mesto elektrona popunjava neki od elektrona iz viših nivoa, pri čemu nastaje prateće **rendgensko (X) zračenje**.

Elektronski zahvat je **konkurentski proces β^{+} raspadu**, jer se u oba slučaja **redni broj smanjuje za jedan**. Pri elektronskom zahvatu izotop X transformiše se u izotop Y prema jednačini



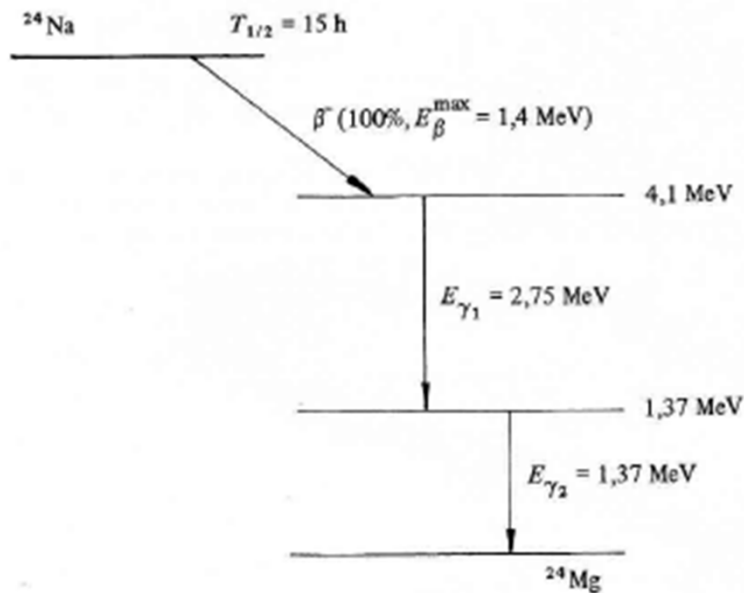
Gama zračenje

Posle α ili β raspada, jezgro potomak može biti u pobuđenom stanju, iz koga se trenutno deekscituje (vraća u osnovno stanje) emisijom gama-fotona (gama zraka) odgovarajućih energija.

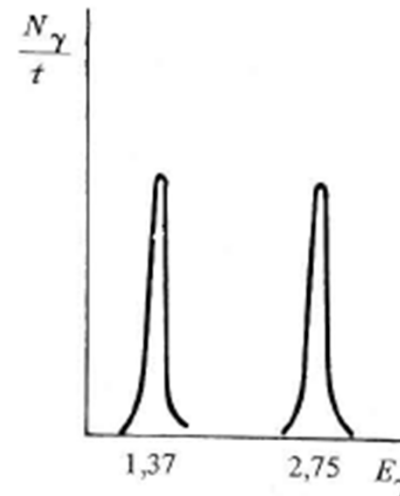
Gama zračenje je oko 100 puta prodornije od β zračenja.

Gama zračenje je elektromagnetno zračenje najvećih energija, najmanjih talasnih dužina među svim vrstama zračenja.

Gama zraci ne skreću u električnom polju (nisu naelektrisani), a energije su im u intervalu (10^4 – 10^{12}) eV.

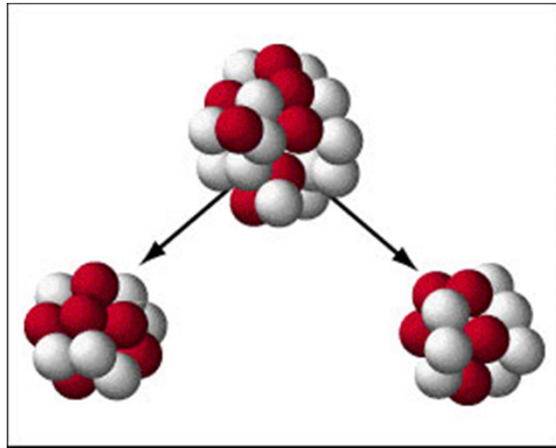


Shema raspada izotopa ^{24}Na .



Spektar gama zračenja iz raspada ^{24}Na

Spontana fisija



Spontana fisija se javlja kod **veoma teških jezgara** (atomske mase većih od 232 (torijum)). To je **proces spontanog cepanja teškog jezgra na dva lakša jezgra** koja se zovu **fisioni fragmenti**.

Cepanje se ne vrši na dva podjednaka fragmenta, već postoji određena verovatnoća da mase fragmenata stoje u određenom odnosu.

Pri fisiji se oslobađa energija, posle fisije svaki nukleon je za oko 1 MeV čvršće vezan u fisionom fragmentu nego u početnom jezgru.

Prilikom svake fisije oslobodi se oko energija od **250 MeV**. Ovu energiju nose **fisioni fragmenti** u vidu kinetičke energije, 2–3 oslobođena **neutronska** i **γ -zračenja**. Oslobođeni neutroni omogućavaju razvoj i održavanje lančanih reakcija u nuklearnim reaktorima.

Zakon radioaktivnog raspada

Zakon radioaktivnog raspada može se napisati u diferencijalnom obliku:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1) \quad \begin{array}{l} \lambda \text{ - konstanta raspada, jedinica } s^{-1} \\ N \text{ - broj radioaktivnih jezgara} \end{array}$$

Ako je

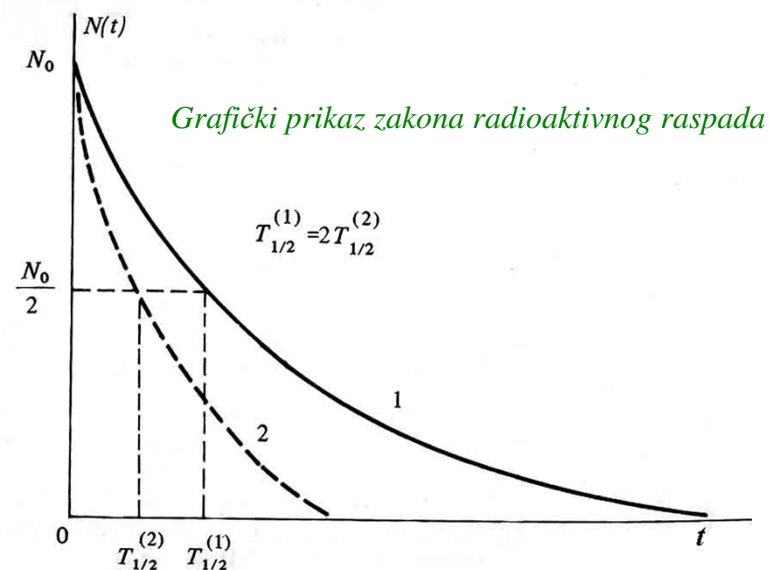
N_0 broj radioaktivnih jezgara polaznog radioaktivnog izotopa prisutnih u početnom trenutku ($t=0$) a N_t broj jezgara polaznog radioizotopa koji ostaje neraspadnut nakon isteka vremena t , integracija ove jednačine u granicama vremena od $t = 0$ do t i broja radioaktivnih jezgara od N_0 do N_t :

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

daje izraz za zakon radioaktivnog raspada:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$



Period vremena na čijem kraju je broj neraspadnutih jezgara (N_T) jednak polovini broja radioaktivnih jezgara prisutnih na početku, tj. $N_T = N_0/2$, naziva se **period poluraspada** (vreme poluraspada), $T_{1/2}$

Uvođenjem $N_T = N_0/2$ za $t = T_{1/2}$ u izraz (2) dobija se

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (3)$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (3)$$

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

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



$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (4)$$

Kada se (4) iskoristi u (3) dobija se zakon radioaktivnog raspada u obliku:

$$N_t = N_o e^{-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}}$$

Aktivnost radioaktivnog uzorka

Broj raspada u jedinici vremena naziva se **aktivnost (A)** datog radioaktivnog uzorka:

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

Na osnovu jednačine (1) sledi:

$$A = \lambda N \quad (5)$$

gde je N broj prisutnih radioaktivnih jezgara.

Iz (5) i (2) sledi: $A(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$

$$A_0 = \lambda N_0$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

A_0 je **početna aktivnost** = broj raspada u prvoj sekundi od početka posmatranja, tj. od momenta kada je u radioaktivnom izvoru bilo N_0 radioaktivnih atoma

Aktivnost radioaktivnog uzorka

Broj raspada u jedinici vremena naziva se **aktivnost (A)** datog radioaktivnog uzorka:

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

Na osnovu jednačine (1) sledi $A = \lambda N$ (5) gde je N broj prisutnih radioaktivnih jezgara

Iz (5) i (2) sledi: $A(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$

$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

$A_0 = \lambda N_0$
↑
početna aktivnost

A_0 je **početna aktivnost** = broj raspada u prvoj sekundi od početka posmatranja, tj. od momenta kada je u radioaktivnom izvoru bilo N_0 radioaktivnih atoma

Jedinice za aktivnost su:

Bekerel (Bq): aktivnost od 1 Bq znači da se u jednoj sekundi dešava jedan raspad

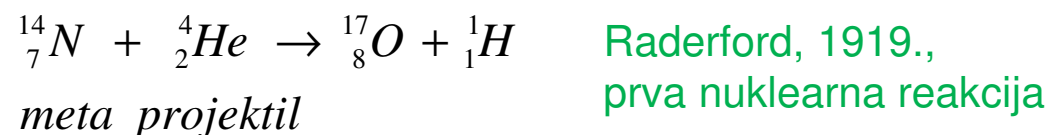
Kiri (Ci): aktivnost od 1 Ci ima onaj izvor u kome se u **jednoj sekundi dešava $3,7 \cdot 10^{10}$ raspada.**

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Nuklearne reakcije

Nuklearna reakcija je proces u kome **atomsko jezgro reaguje sa nekim drugim jezgrom, sa elementarnom česticom ili γ -fotonom** pri čemu nastaju čestice drugačije od polaznih (jezgro-produkt i izbačene lakše čestice).

Dejstvo čestica na atomsko **jezgro - metu** zove se **bombardovanje**, a čestica kojom se vrši bombardovanje zove se **projektil**.



Način pisanja nuklearnih reakcija sličan je prikazivanju hemijskih reakcija.

Na levoj strani jednačine pišu se komponente koje stupaju u reakciju (jezgro mete i projektil), a na desnoj strani proizvodi nuklearne reakcije (nastalo jezgro i čestica odnosno γ -zrak koji su pri reakciji izbačeni)



U nuklearnoj reakciji ostaje nepromenjen ukupan broj protona i neutrona
(isti je zbir broja protona i neutrona na levoj i desnoj strani jednačine).

Mehanizam nuklearnih reakcija:

1. faza- formiranje **prelaznog, složenog jezgra** koje je u pobuđenom stanju

2. faza - u međusobnim sudarima nukleona u prelaznom jezgru dešava se da jedan od njih primi dovoljnu kinetičku energiju, savlada energiju veze i napusti jezgro. Pri tome se emisijom jedne ili više čestica, ili γ - kvanta, pobuđeno složeno jezgro oslobađa viška energije i prelazi na niži energetski nivo- formira se novo jezgro koje može biti stabilno ili radioaktivno.

Kao projektili u nuklearnim reakcijama koriste se:

1. naelektrisani projektili:

α -čestice (jezgra helijuma, 4_2He)

protoni (jezgra vodonika, 1_1H ili **p**)

deuteroni (jezgra deuterijuma, 2_1H ili **d**)

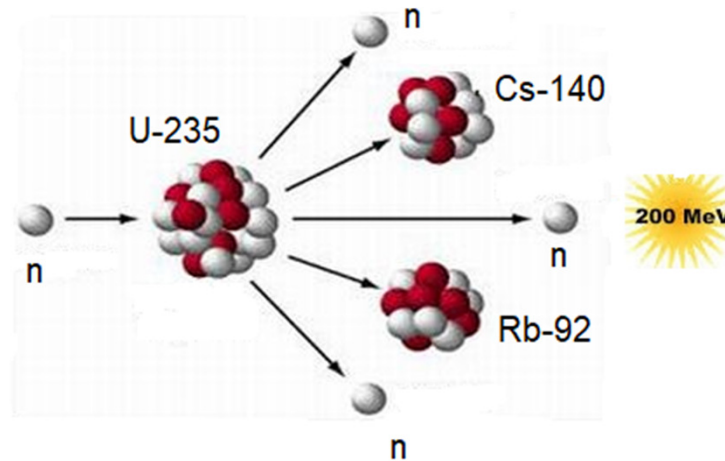
2. neutroni

nuklearne reakcije sa neutronima su (n,γ) , (n,p) , (n,α) , (n,f)

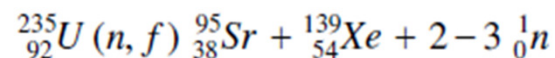
Pozitivno naelektrisani projektili moraju da savladaju potencijalnu barijeru koju stvaraju Kulonove odbojne elektrostatičke sile, da bi ušli u pozitivno naelektrisano jezgro mete. Zbog toga se vrši ubrzavanje pozitivnih projektila u **akceleratorima**, dejstvom električnog i magnetnog polja. Kod neutrona-naelektrisanih projektila, nema potencijalne barijere za ulazak u jezgro.

Nuklearna reakcija (n,f) naziva se **fisija**. Nastaje zahvatom neutrona u jezgru izotopa $^{235}_{92}\text{U}$ (fisibilnog materijala koji se nalazi u prirodnom uranijumu, sa zastupljenošću 0,7 %). Ovu reakciju karakteriše cepanje teškog jezgra mete $^{235}_{92}\text{U}$ na dva fragmenta-dva lakša radioaktivna jezgra. Zbir rednih brojeva fragmenata jednak je rednom broju mete.

Reakciju fisije prati oslobađanje **velike energije** (oko 200 MeV)



Proces fisije ima statistički karakter-postoji oko 40 načina cepanja jezgara $^{235}_{92}\text{U}$ pri čemu postoji verovatnoća da nastane oko 300 različitih radioaktivnih produkata fisije. Najveći prinosi odnose se na jezgra sa masenim brojevima oko 95 i 140 .

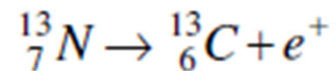
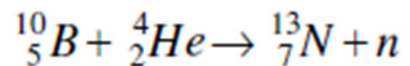


Prirodna radioaktivnost

Na Zemlji postoji ukupno oko 330 izotopa (90 hemijskih elemenata). Od toga, stabilnih izotopa je 270, a ostali su nestabilni-prirodno radioaktivni. Zračenja koja nastaju raspadom ovih prirodno radioaktivnih izotopa čine prirodnu radioaktivnost u našoj okolini. Njihovi periodi poluraspada su veliki, tj. tempo raspada je spor. Elementi sa rednim brojem od 84-92 uopšte nemaju stabilnih izotopa i formiraju tri prirodna radioaktivna niza, koja počinju izotopima ^{235}U , ^{238}U i ^{232}Th .

Veštačka radioaktivnost

Veštački radioizotopi proizvode se različitim nuklearnim reakcijama.



Beta-plus raspad

Detekcija radioaktivnog zračenja

Radioaktivno zračenje pri prolasku kroz materiju interaguje sa njom tako da atome materije jonizuje ili ekscituje. Na osnovu **jonizacije** ili **ekscitacije** atoma materije vrši se detekcija radioaktivnog zračenja.

Etape detekcije:

1. **Dospevanje zračenja na detektor**

2. **Delovanje zračenja na efektivnu (osetljivu) zapreminu detektora**

-osetljiva zapremina detektora sadrži materiju u specifičnom stanju, npr. pod električnim ili magnetnim poljem; nakon prolaska zračenja dolazi do energetskih promena u toj materiji koje su indikacija o tom zračenju; efikasna zapremina može biti u gasnom, tečnom ili čvrstom stanju

3. **Indikacija o detektovanom zračenju**

- pojava naelektrisanja, svetlosti, toplote, boje, kondenzacije, promena hemijske strukture..

Gasni detektori (sa električnom indikacijom):

- jonizacione komore
- Gajger-Milerovi brojači
- proporcionalni brojači
- gasni scintilacioni brojači

Tečni detektori: tečni scintilacioni brojači, Čerenkovljevi brojači

Čvrsti detektori: scintilacioni α , β i γ detektori, scintilaciona stakla, kristalni i poluprovodnički detektori



Gajger-Milerov brojač
(detektuje alfa, beta i gama zračenje
na bazi efekta jonizacije)

Primene radioaktivnih izotopa

1. Radioaktivni obeleživači u nauci

Koriste se radioizotopi kao npr. 3H , ^{14}C i ^{32}P . čiji su stabilni izotopi prisutni u ispitivanim molekulima il ćelijama.

Radioizotopi se ugrađuju u molekul za vreme njegove sinteze ili se vrši izmena stabilnog atoma radioaktivnim izotopom u postojećem molekulu, time se **molekul il ćelija „markira“ radi daljeg proučavanja**

Proučavanje **raspodele biološki aktivnih supstancija u organizmu, u pojedinim organima**

- obeležena supstancija unosi se u organizam, npr. za izučavanje metabolizma proteina koriste se aminokiseline obeležene sa 3H ili ^{14}C

-proučavanje sinteze DNK...

2. Radioaktivni izotopi u medicini

- za postavljanje dijagnoze - npr. za ispitivanje poremećaja rada štitne žlezde koriste se radioizotopi ^{123}I i ^{131}I
raspodela radioaktivnog joda u tkivu štitne žlezde prati se pomoću fotoskenera.

-ispitivanje koncentracije antigena ili reakcije antigen-antitelo

-lokalizacija tumora itd.

3. Radioaktivni izotopi u poljoprivredi

-Proučavanje apsorpcije komponenti iz tla u biljkama-ishrane biljaka, ispitivanje optimalnog iskorišćenja đubriva, insekticida i pesticida, ispitivanje plodnosti zemljišta i dr.