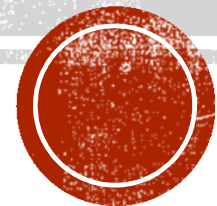


ИНТЕГРИСАНЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ МЕДИЦИНЕ

БИОФИЗИКА

НАСТАВНА ЈЕДИНИЦА 2 ОСНОВИ НУКЛЕАРНЕ ФИЗИКЕ 1.

Проф. др Владимир Вукомановић



- **Зрачење** или *радијација* – природна појава преноса енергије кроз простор
 - електромагнетним зрачењем
 - честицама

- **Јонизујуће зрачење** – зрачење које јонизује атоме материје

- Основне врсте јонизујућег зрачења:
 - **електромагнетно** или **фотонско зрачење**
 - **честично** или **корпускуларно зрачење**



Електромагнетна зрачења

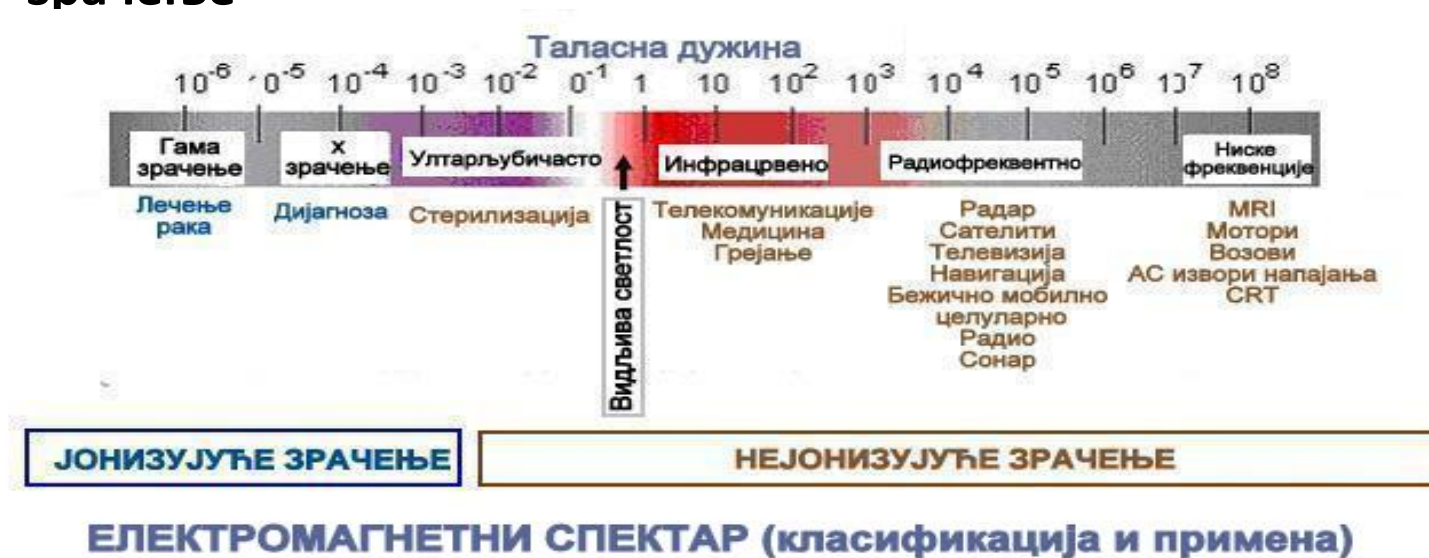
- сноп фотона, основних *кванта* (“пакетића”) енергије

$$E = h \cdot \nu$$

- описује се *фреквенцијом зрачења* или *таласном дужином зрачења*. Изузетно се рендгенско зрачење описује *напоном* којим је постигнуто то зрачење у *киловолтима (kV)*

Врсте јонизујућег зрачења:

- рендгенско „X“ зрачење (W.C.Röntgen, енгл. X-rays)
- гама „γ“ зрачење

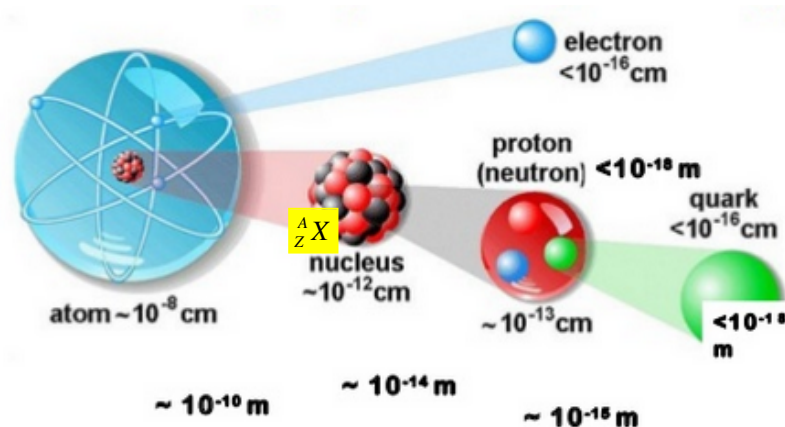


Корпускуларна зрачења

- Честично зрачење – сноп врло брзих субатомских честица или група, енергијом честица – у *електронволтима* (eV), keV или MeV
- Врсте:
 - **алфа зрачење** (α -зрачење) – сноп брзих α -честица (језгра атома хелијума - два протона и два неутрона),
 - **бета-зрачење** (β -зрачење) – сноп брзих β -честица (електрона),
 - **електронско зрачење** – сноп брзих електрона, по природи једнако β -зрачењу,
 - **неутронско зрачење** – сноп брзих неутрона,
 - остало: *протонско, деутеронско, тритонско, тешкојонско зрачење* и др.



ГРАЋА АТОМА



$$Z \text{ (proton)} + N \text{ (neutron)} = A \text{ (nucleon)}$$

Бр протона Бр неутрона Бр нуклеона

Масени број

Атомски број

Атом може бити у два енергетска стања: основно атомско стање и побуђено (есцитовано) стање. У основном стању када атом прими E (енергију) прелази у побуђено стање.



Нуклид – Атомско језгро са егзактним саставом, односно масеним (A) и атомским (Z) бројем

- **Радионуклид** – Нестабилни односно радиоактивни нуклид
- **Изотопи** – Нуклиди са истим атомским а различитим масеним бројем (иста хемијска својства)
- **Изобари**– Нуклиди са истим масеним а различитим атомским бројем (различита хемијска својства)
- **Изомери** – Нуклиди који имају исти број протона и неутрона али имају различита енергетска стања



The Periodic table of the elements

Main groups

Other groups

Main groups

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
---	----	-----	----	---	----	-----	------	---	----	-----	----	---	----	-----	------

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo		44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra		104 Ku	105 Ha	106 Sg	107 Ns	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub		114 Uuq				

Lanthanoids

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd		62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	--	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Actionoids

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Background color = Metal

Background color = Metalloid

Background color = Nonmetal

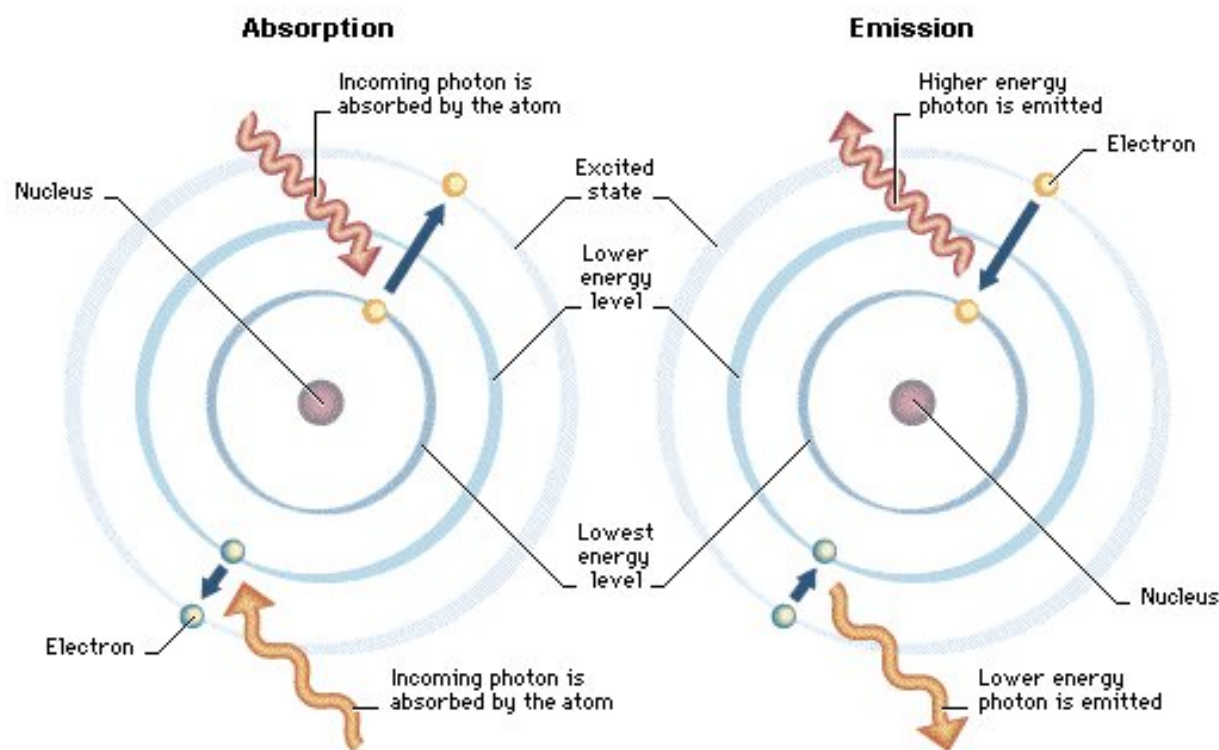
Font color = Solid states

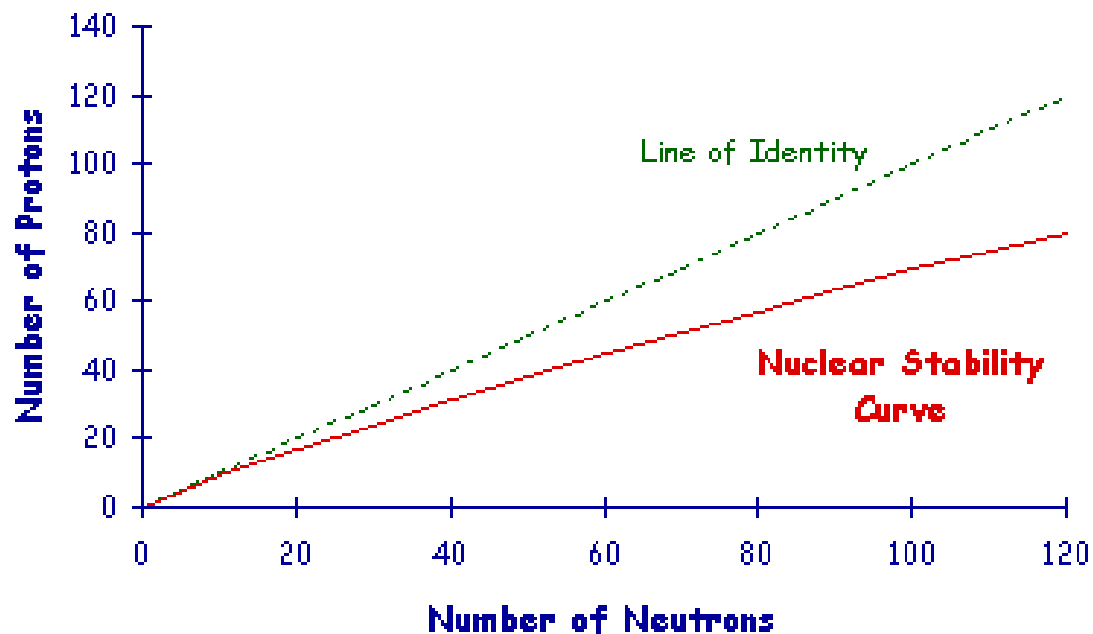
Font color = Liquids

Font color = Gases

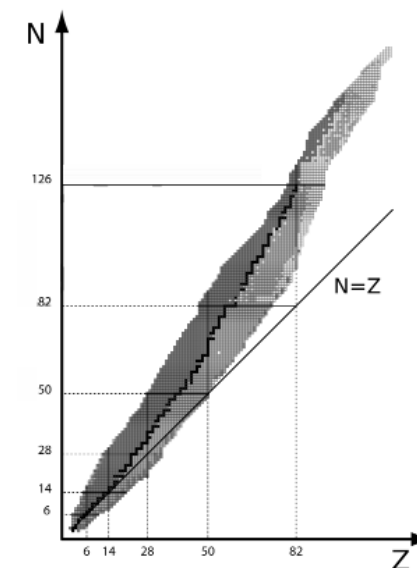


Атом може бити у два енергетска стања: основно атомско стање и побуђено (есцитовано) стање. У основном стању када атом прими E (енергију) прелази у побуђено стање. У таквом стању електрон прелази на виши енергетски ниво, па се ту кратко задржава и враћа се. При поврату електрона на нижи E -ниво он емитује светлост у виду квантова (најмањи пакетићи E).





Код стабилних изотопа енергија везе по нуклеону износи између 7 и 9 MeV. Енергија везе зависи од броја нуклеона у језгру, односно масеног броја A . Електростатичко одбијање између протона зависи од квадрата наелектрисања, односно Z^2 .

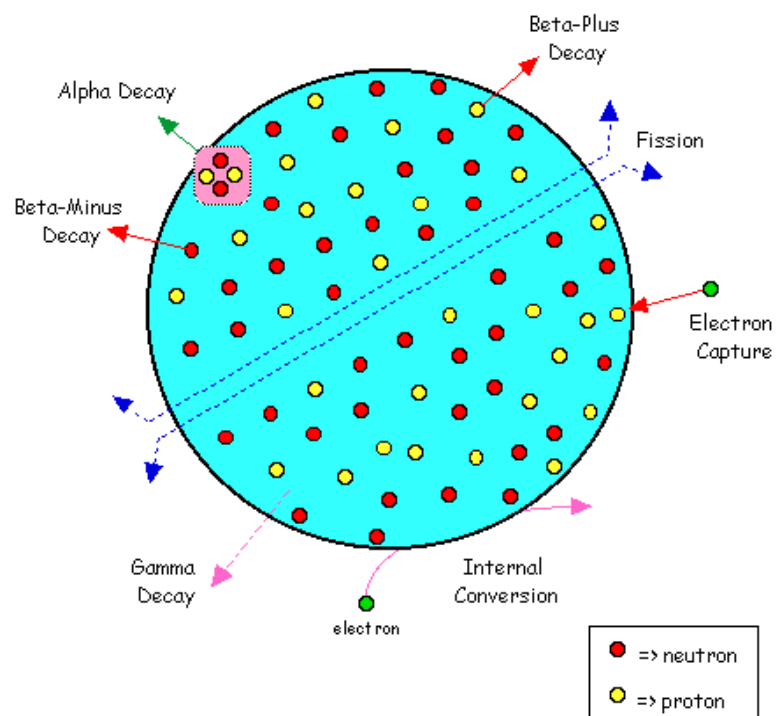


Код малих језгара број протона и неутрона је једнак, али код већих језгара да би се одржала стабилност, број неутрона се повећава, како би се повећањем енергија везе савладала сила одбијања између протона и језгро било стабилније!

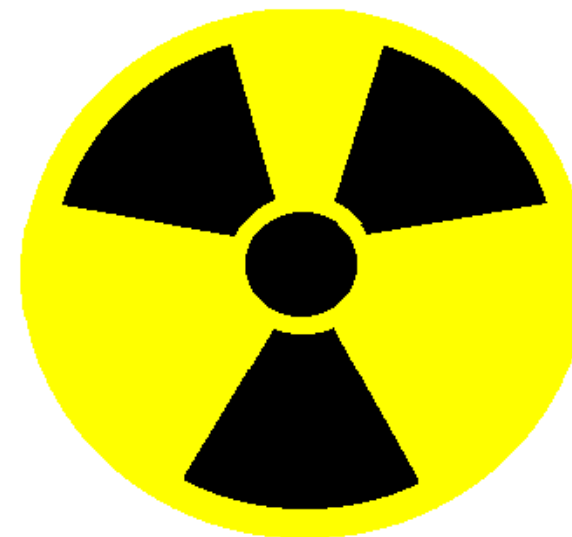


Радиоактивност је открио Бекерел 1896. године

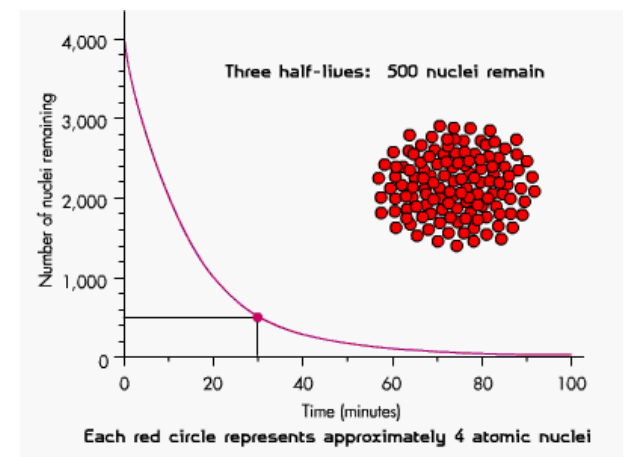
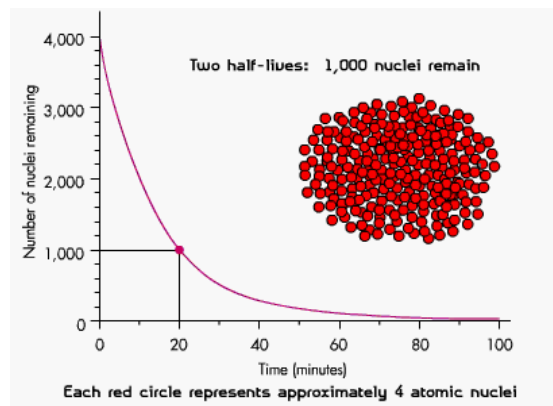
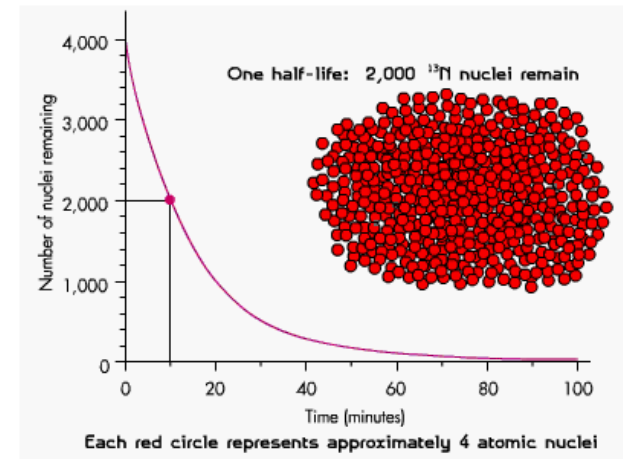
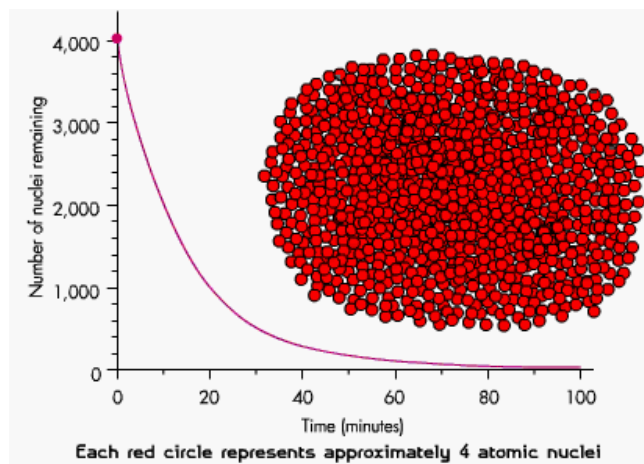
Радиоактивни распад је случајан, статистички процес – не може се тачно предвидети које језгро ће се у ком тренутку распасти, али се може одредити број језгара који ће се распасти после извесног интервала времена.



The international sign for radioactivity



Закон радиоактивног распада



Закон радиоактивног распада дефинише број *нераспаднутих језгара* (N) радиоактивног елемента након протеклог времена t :

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

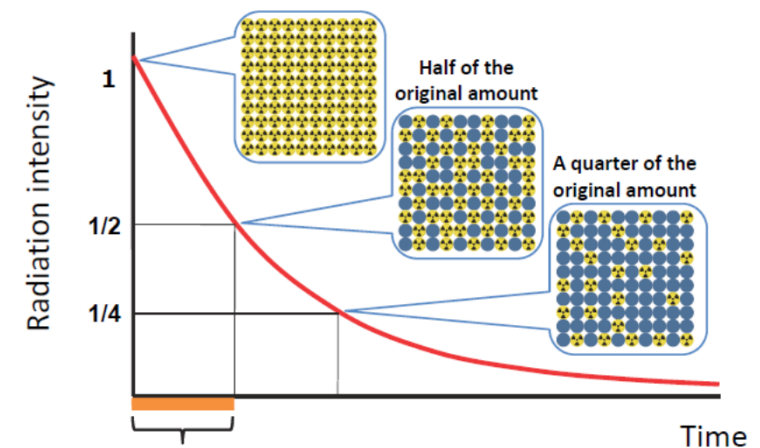
$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

λ - константа радиоактивног распада

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

Време полураспада је временски интервал за који се распадне половина од укупног броја атомских језгара радиоактивног елемента:

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



Radioisotope	Half Life (approx.)
^{81m}Kr	13 seconds
^{99m}Tc	6 hours
^{131}I	8 days
^{51}Cr	1 month
^{137}Cs	30 years
^{241}Am	462 years
^{226}Ra	1620 years
^{238}U	4.51×10^9 years

Биолошко време полуелиминације ($T_{1/2})_b$
је време потребно да се количина фармака или радиофармака апликованог пацијенту редукује на половину услед његовог излучивања из организма.

Ефективно време полуелиминације ($T_{1/2})_e$
је време потребно да се активност радиофармака у пацијенту редукује на половину због физичког распада и биолошког излучивања

$$\frac{1}{(T_{1/2})_e} = \frac{1}{(T_{1/2})_b} + \frac{1}{(T_{1/2})}$$

Како се језгра ослобађају вишка енергије

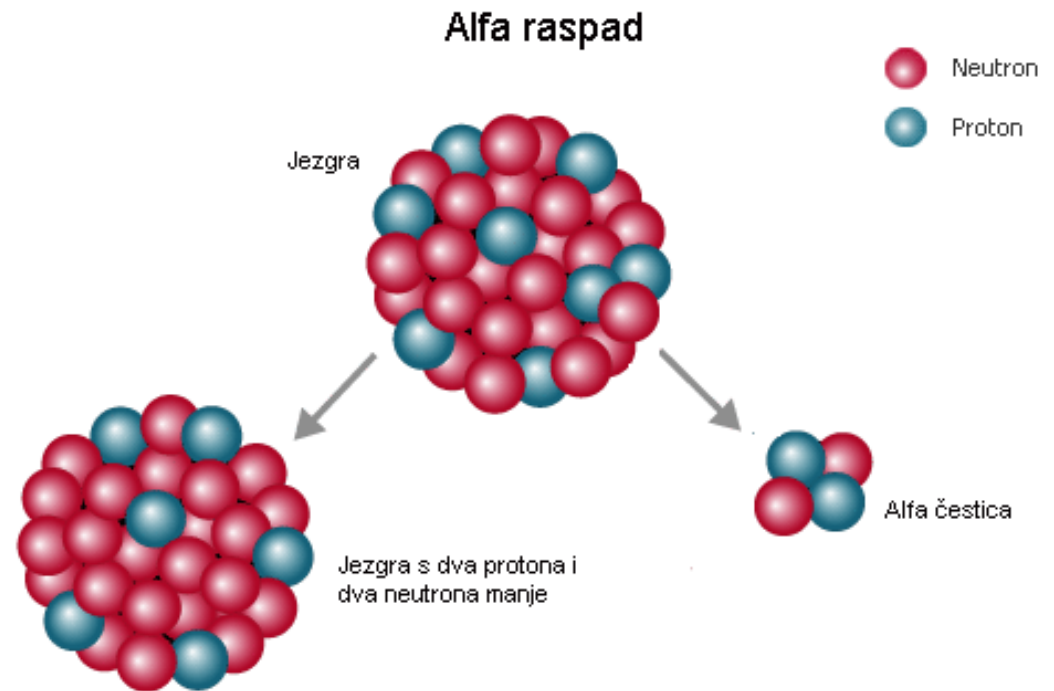
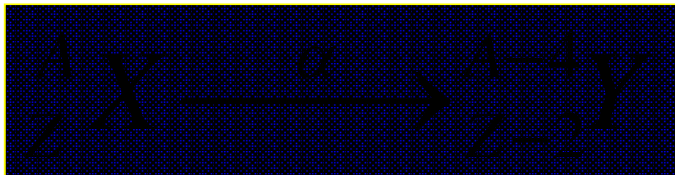
-Радиоактивни распади-



Алфа распад

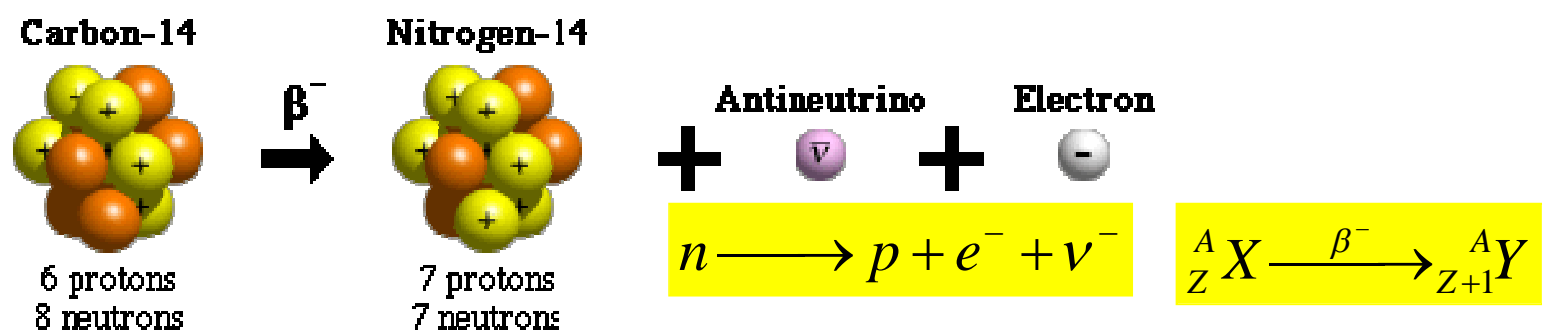
Алфа распад је претварање једног атомског језгра у друго уз емитовање алфа честице.

Језгро се трансформише (или "распада") на мање језгро масеног броја мањег за 4 и атомског броја мањег за 2 и на алфа-честицу

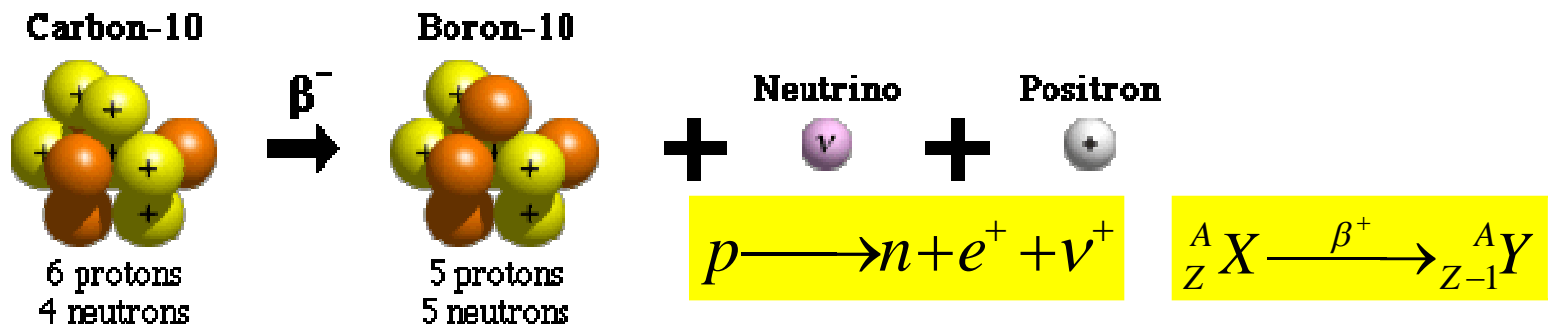


Бета распад је врста радиоактивног распада изазвана утицајем слабе нуклеарне силе, при којем атомско језгро претвори (трансмутира) у нови хемијски елемент. Не долази до промене атомске масе, већ се само атомски број Z повећа (β^-) или смањи за један (β^+).

Бета минус распад



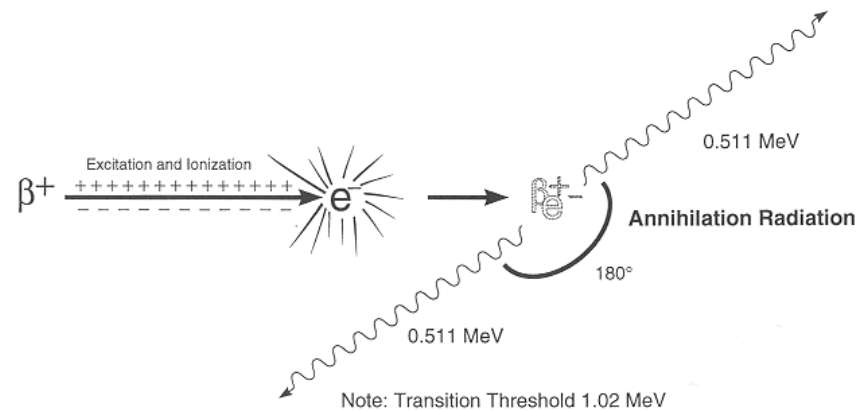
Бета плус распад



Последица бета плус распада

Аниhilација позитрона и електрона

Емитовање два гама кванта од по 511 keV

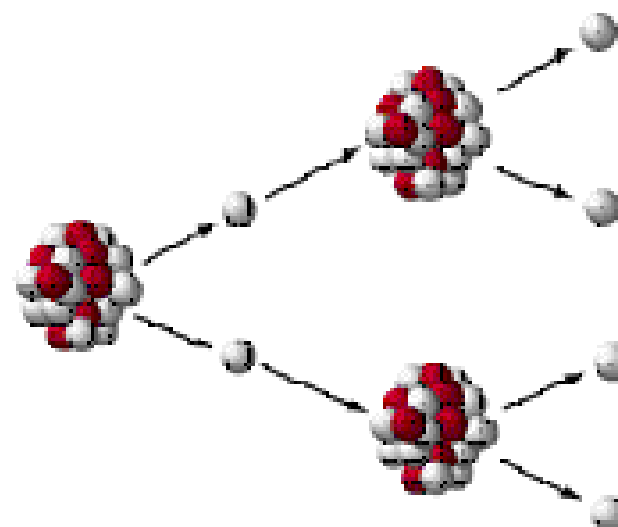
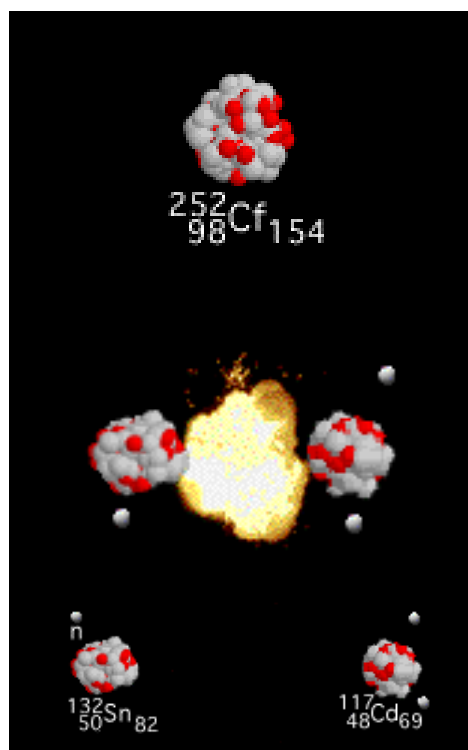


Последица захвата електрона

Емитовање фотона карактеристичног X зрачења



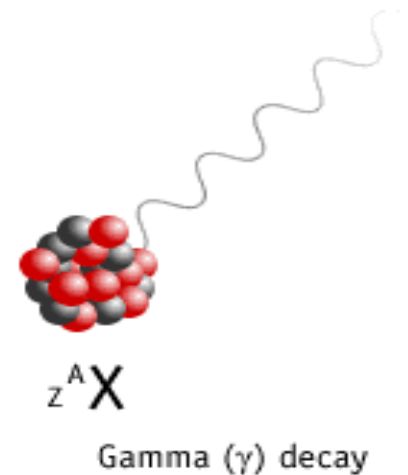
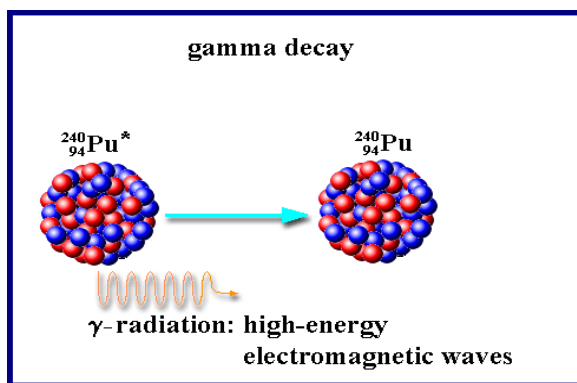
спонтана фисија



Гама распад

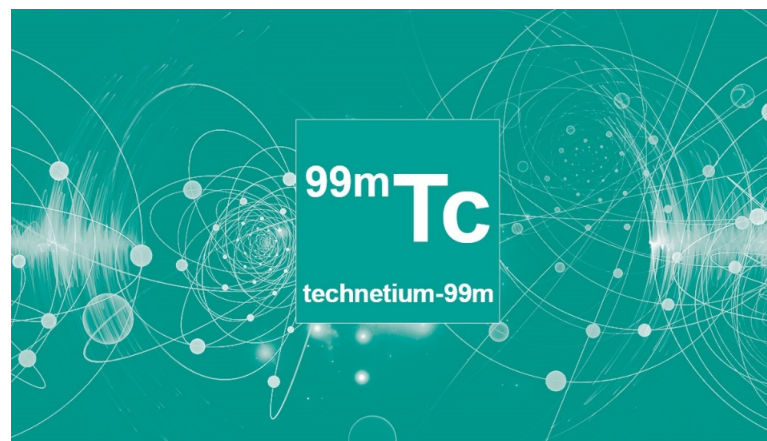
Гама распад је једна врста деекситације језгра. До емисије гама зрака долази када језгро прелази из побуђеног стања у основно стање или у неко побуђено стање ниже енергије него почетно. Кванти гама зрачења су фотони

- Током радиоактивног распада потомак може имати ексцитирано стање
- Прелазак у ниже енергетско стање праћено је емитовањем гама кванта
- $T_{1/2}$ ексцитираних стања може бити и преко 600 година



ИЗОМЕРНИ ПРЕЛАЗ

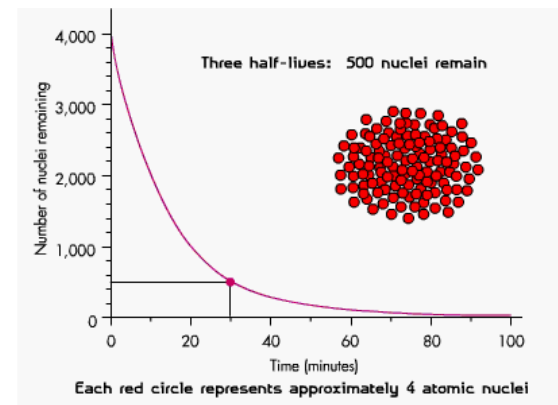
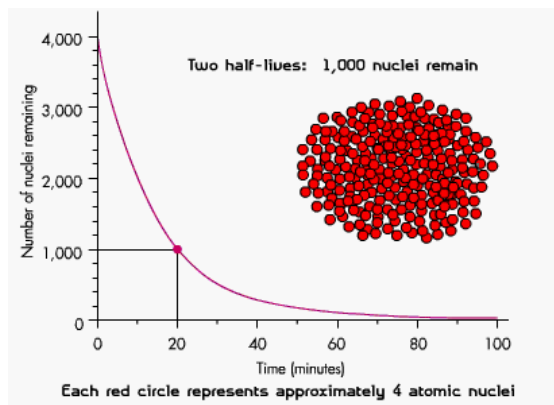
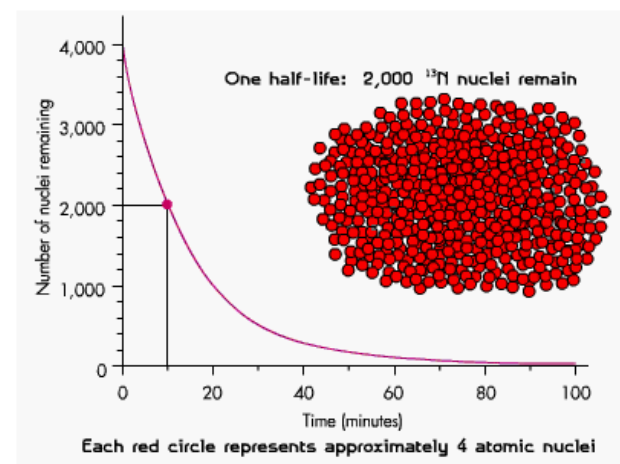
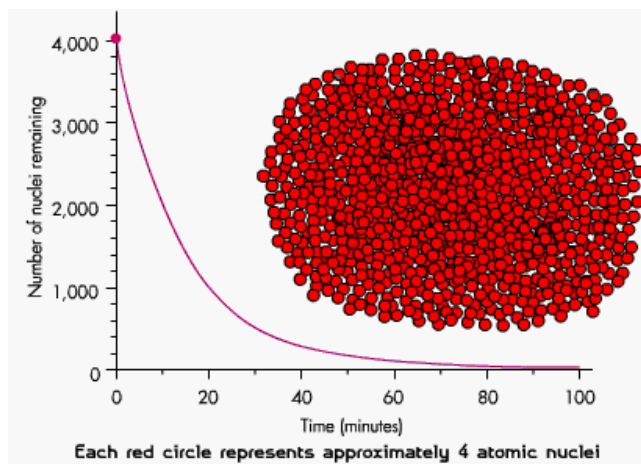
- Током радиоактивног распада потомак може имати ексцитирано стање
- Прелазак у ниже енергетско стање праћено је емитовањем гама кванта
- $T_{1/2}$ ексцитираних стања може бити и преко 600 година



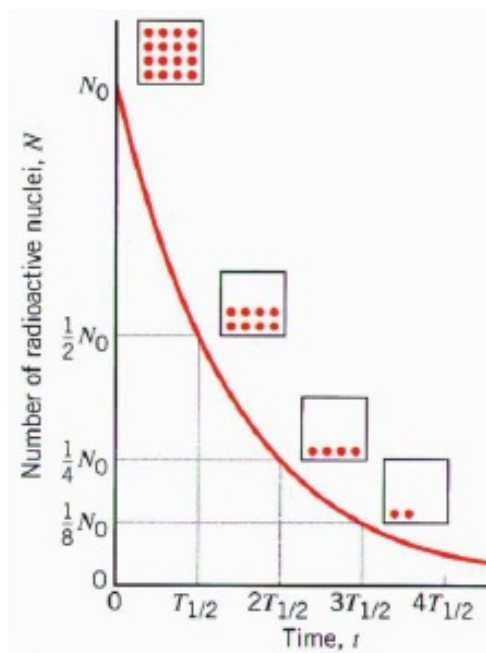
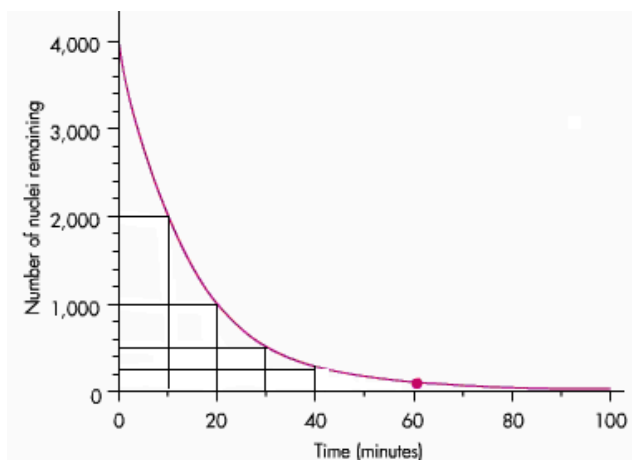
Генерално узевши, на који ће се начин неки изотоп трансформисати, односно која ће врста распада бити више или мање заступљена, као и које ће енергије и који релативни интензитет имати емитоване честице и (или) гама кванти унапред је дефинисана и зависи **само од броја протона и неутрона у језгру** и представља “личну карту” за сваки изотоп.



Закон радиоактивного распада



Закон радиоактивного распада



$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

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

$$T_{1/2} = \frac{A_0}{2} \quad T_{1/2} = \frac{N_0}{2}$$

$T_{1/2}$ од 10^{-24} до 10^{30} секунди



Закон радиоактивног распада дефинише број *нераспаднутих језгара* (N) радиоактивног елемента након протеклог времена t :

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

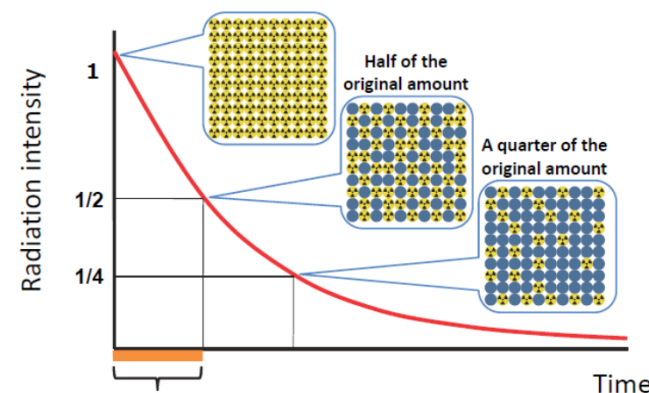
$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

λ - константа радиоактивног распада

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

Време полураспада је временски интервал за који се распадне половина од укупног броја атомских језгара радиоактивног елемента:

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



Radioisotope	Half Life (approx.)
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	13 seconds
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 hours
^{131}I	8 days
^{51}Cr	1 month
^{137}Cs	30 years
^{241}Am	462 years
^{226}Ra	1620 years
^{238}U	4.51×10^9 years

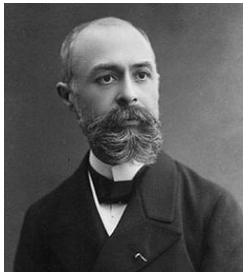
Биолошко време полуелиминације ($T_{1/2})_b$ је време потребно да се количина фармака или радиофармака апликованог пацијенту редукује на половину услед његовог излучивања из организма.

Ефективно време полуелиминације ($T_{1/2})_e$ је време потребно да се активност радиофармака у пацијенту редукује на половину због физичког распада и биолошког излучивања

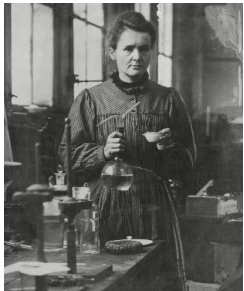
$$\frac{1}{(T_{1/2})_e} = \frac{1}{(T_{1/2})_b} + \frac{1}{(T_{1/2})_p}$$



Јединице радиоактивности



1Bq (Бекерел)=1 распад у секунди
kilo, mega, giga, tera....



1Ci (Кири)= 3.7×10^{10} Bq
mili, mikro, nano, piko

У дијагностичкој нуклеарној медицини нормално се користе активности у опсегу μCi - mCi (37 kBq – 37 MBq)

У терапијској нуклеарној медицини нормално се користе активности до 200 mCi (do 7.4 GBq)

