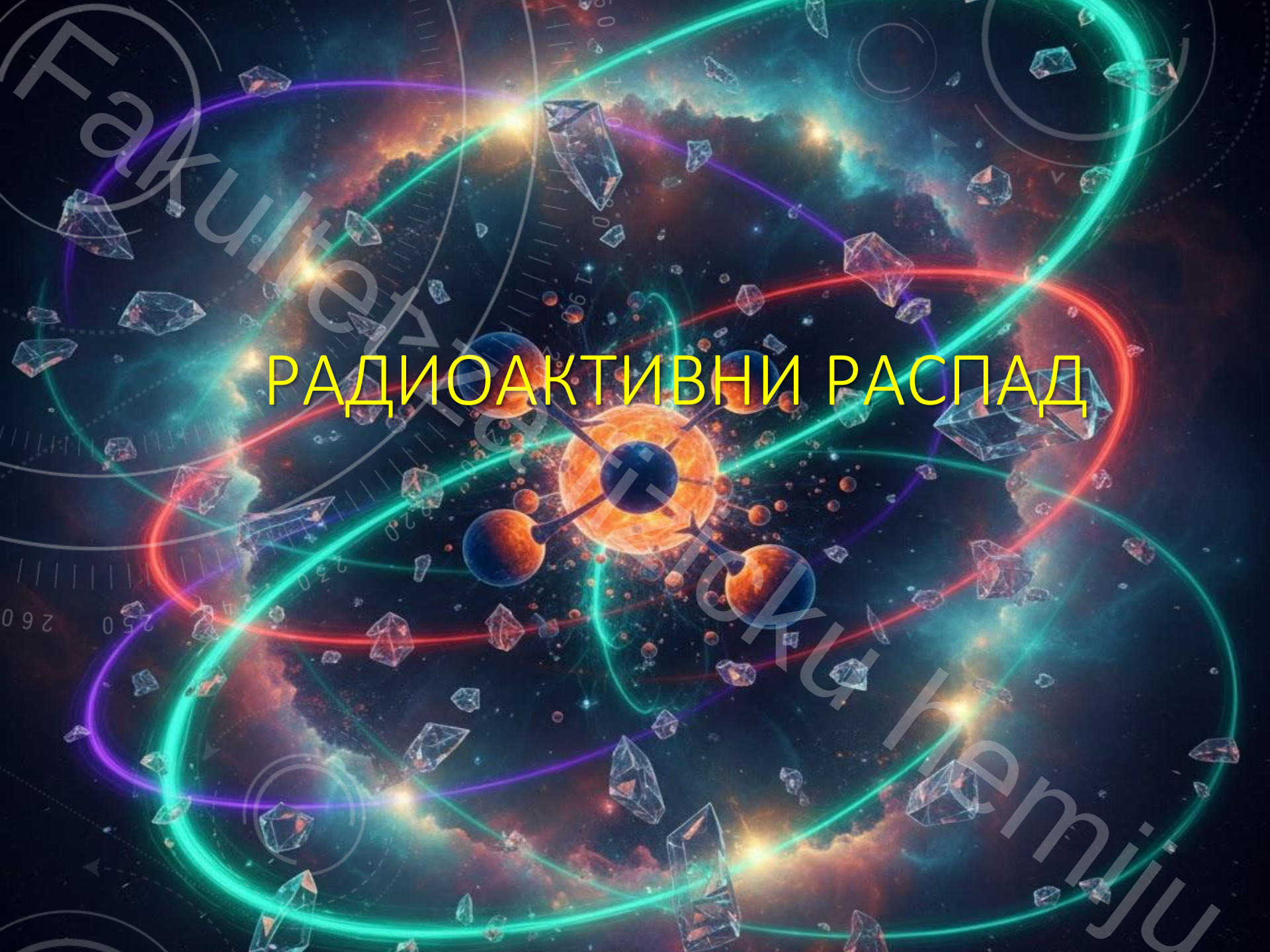


РАДИОАКТИВНИ РАСПАД

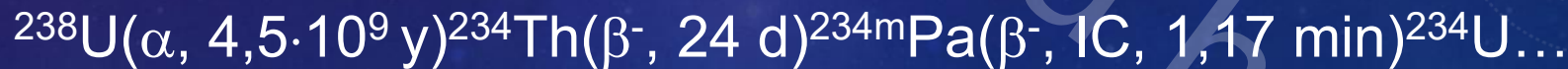


- Спонтана трансформација језгра при чему оно прелази у стабилнији облик, било у језгро другог елемента или у енергетски стабилније језгро истог елемента, уз емисију честица и/или електромагнетног зрачења.
- Независан од спољашњих услова: притиска, температуре, хемијског облика* итд.
- Временска константа распада се назива временом полураспада ($t_{1/2}$)
- Радиоактивни распад укључује прелаз са дефинисаног квантног стања нуклида који се распада до дефинисаног квантног стања нуклида који настаје

ВРСТЕ РАДИОАКТИВНОГ РАСПАДА

- α -распад
- β -распад (β^- , β^+ и EC)
- γ -распад
- Интерна конверзија (IC)
- Спонтана фисија (SF)
- Егзотични распади (p, n, ... ^{12}C)

НОТАЦИЈА РАДИОАКТИВНОГ РАСПАДА



ЗАКОНИ ОДРЖАЊА КОД РАДИОАКТИВНОГ РАСПАДА

- Ови закони важе радиоактивне распаде и за нуклеарне реакције



- Одржање енергије** (укључујући масени еквивалент енергије)

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4$$

- Одржање импулса**

$$p_1 + p_2 = p_3 + p_4$$

ОАС-Радиохемија и нуклеарна хемија

- Одржање наелектрисања

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

- Одржање масеног броја

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

- Одржање укупног угаоног момента система. p_l

$$p_{l,1} + p_{l,2} = p_{l,3} + p_{l,4}$$

- Практичнија формулација

$$\Delta I = I_3 + I_4 - I_1 - I_2$$

I је укупни нуклеарни спински квантни број.

ΔI у респадима/нуклеарним реакцијама може имати вредности

$$\Delta I = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

ЕНЕРГЕТИКА РАСПАДА

- У радиоактивном распаду долази до ослобађања енергије
- $Q = -[M_{X_2} + M_{X_3} - M_{X_1}] \cdot 931,5 \text{ MeV}$
- $Q = E_k(\text{uzmak } X_2) + E_k(X_3) + \dots$
- Уколико радионуклид пре распада мирује

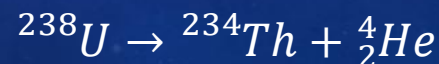
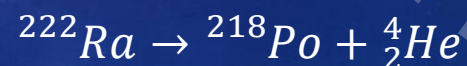
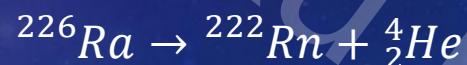
$$E_k(\text{uzmak}) = \frac{M(X_3)}{M(X_2)} \cdot E_k(X_3)$$

α РАСПАД

- Запажа се код језгара тежих од олова - и код неких изотопа из серије лантаноида (изузетак ^8Be).

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 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
			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

221Ra	222Ra	223Ra
220Fr	221Fr	222Fr
219Rn	220Rn	221Rn



ЕНЕРГИЈА АЛФА РАСПАДА

- Енергија алфа распада дефинише се као

$$Q_{\alpha}(\text{MeV}) = 931,5 \Delta M = -931,5(M_{Z-2}^{A-4} + M_{\text{He}} - M_Z^A)$$

- На пример за распад ^{226}Ra

$$\begin{aligned} Q_{\alpha} &= -931,5(M_{222\text{Rn}} + M_{4\text{He}} - M_{226\text{Ra}}) \\ &= (222.017578 + 4,002603 - 226,025410) = 4,871 \text{ MeV} \end{aligned}$$

- За алфа распад ^{238}U

- $Q_{\alpha} = -931,5(M_{234\text{Th}} + M_{4\text{He}} - M_{238\text{U}}) = -931,5(234,043601 + 4,002603 - 238,050788) = 4,27 \text{ MeV}$

РАСПОДЕЛА ЕНЕРГИЈЕ АЛФА РАСПАДА

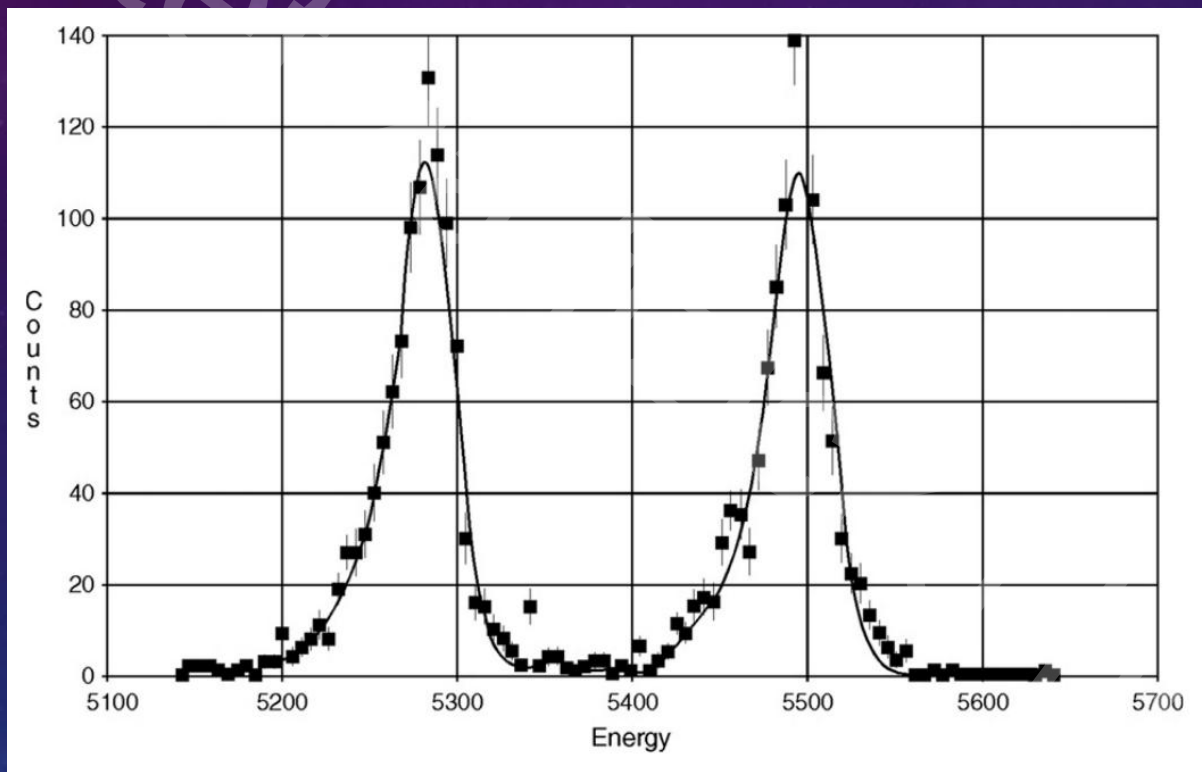
$$Q_{\alpha} = E_{Z-2}^{A-4} + E_{\alpha}$$

- Из закона о одржању енергије и момента импулса следи

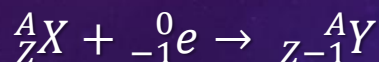
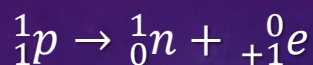
$$E(X_{Z-2}^{A-4}) = \frac{M_{\alpha}}{M_X} Q_{\alpha} \quad E(\alpha) = \frac{M_X}{M_{\alpha}} Q_{\alpha}$$

- Тако α -честица емитована при распаду ^{238}U ($Q_{\alpha}=4,27$ MeV) односи енергију $0,983 Q_{\alpha}$, а атом ^{234}Th свега $0,017 Q_{\alpha}$
- Енергија узмака језгра ^{234}Th је 72 keV што је више него довољно за раскидање хемијске везе у молекулу

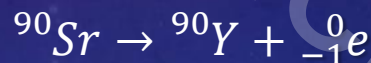
СПЕКТАР α -РАСПАДА



β РАСПАД



Промена спина у β распаду

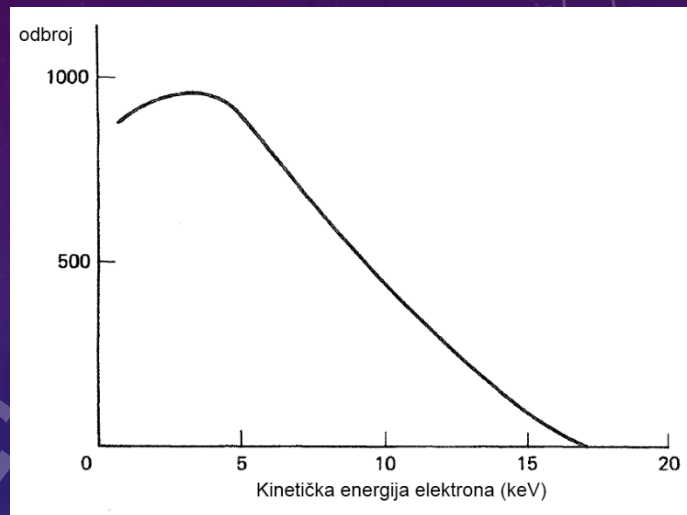


$$\Delta I = I({}^{90}\text{Y}) + I({}^0_{-1}e) - ({}^{90}\text{Sr}) = 2 + \frac{1}{2} - 0 = \frac{5}{2}$$

Али ΔI мора имати **целобројне вредности!**

- Према закону одржања енергије, енергија емитованих електрона (позитрона) треба да је

$$E_e = \frac{m_X^2 - m_Y^2 + m_e^2}{2m_X}$$



- Wolfgang Pauli 1930. – Претопоставка да део енергије односи мала неутрална честица
- Enrico Fermi 1933. у својој теорији β -распада уводи неутралну честицу – **неутрино**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОТВРДА ПОСТОЈАЊА НЕУТРИНА

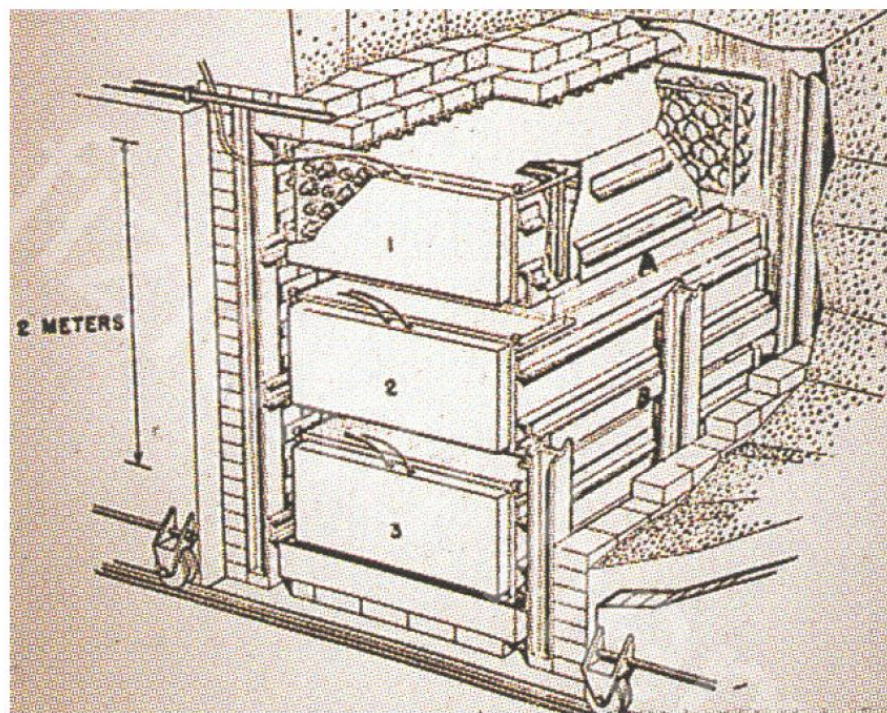
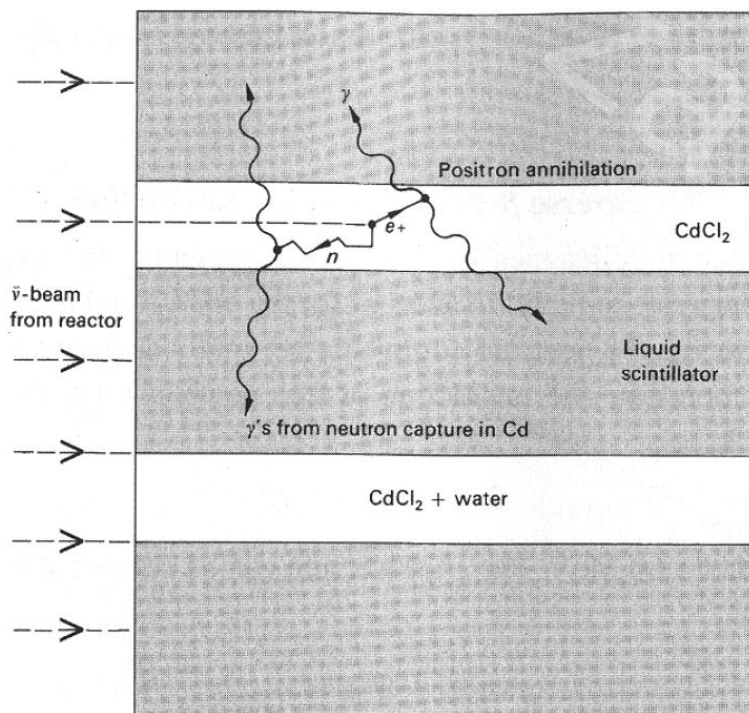
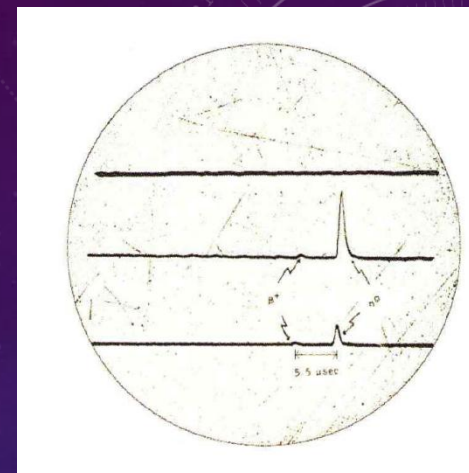
- Неутрино због своје неутралности и мале масе једва да реагује са средином кроз коју пролази
- Reines & Cowan 1955. Sawana River нуклеарни реактор (флукс неутрина $5 \cdot 10^{13}$) – потрага за инверзним β^+ распадом.



- Ако ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + \beta^+ + \nu$

- онда постоји и

- ${}_1^1X + \tilde{\nu} \rightarrow {}_0^1n + \beta^+$



- Нeutрину је приписан спин $\frac{1}{2}$ што решава проблем са променом спина у току радиоактивног распада



- Претпостављена маса неутрина (на основу експеримената на Kamiokande постројењу) је мања од 0,07 eV

ЕНЕРГИЈА β -РАСПАДА



$$Q_{\beta^-} = -931,5 (M_{Z+1} - M_Z)$$



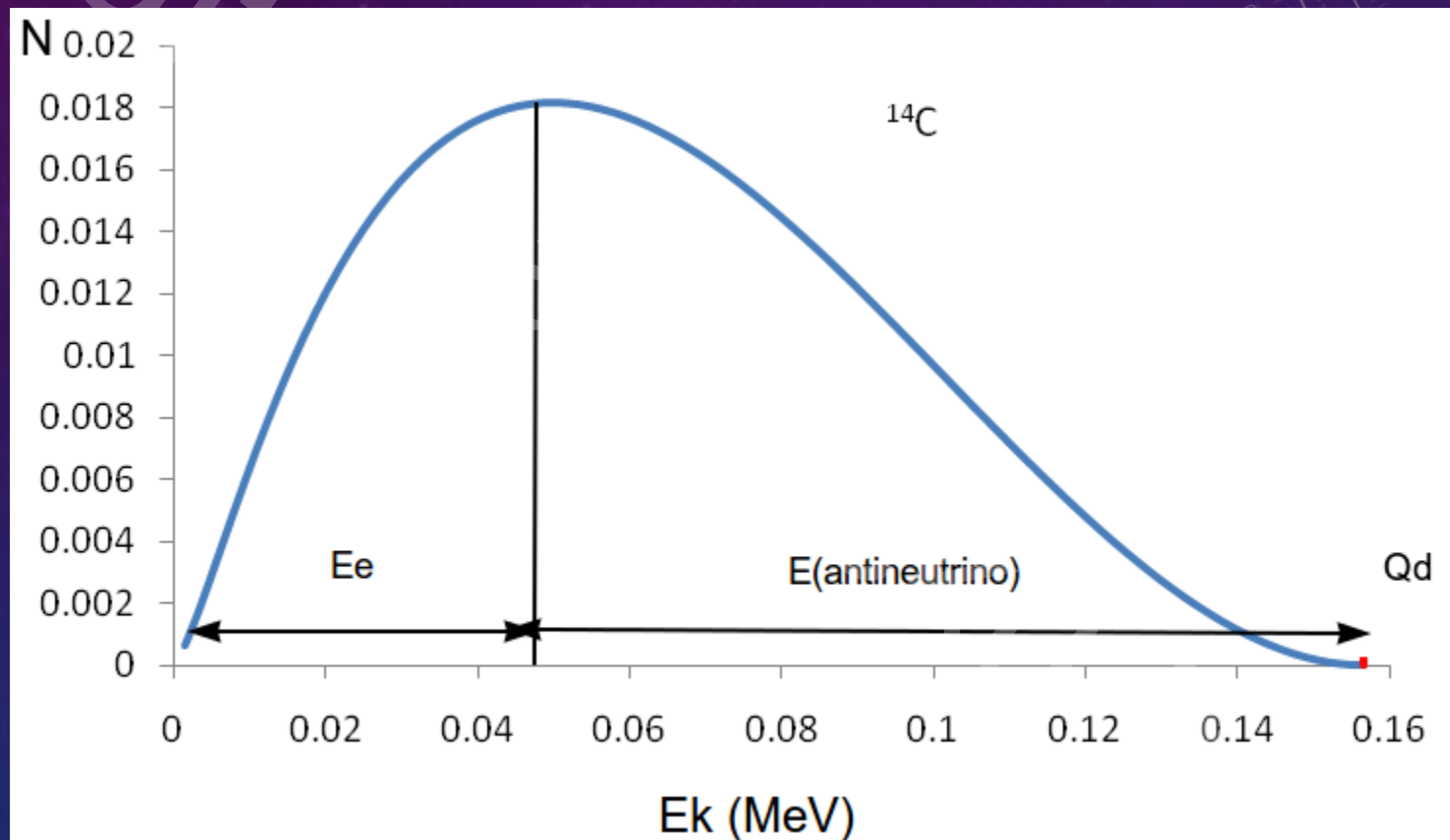
$$\begin{aligned} Q_{\beta^-} &= -931,5 (M_{{}^{90}Y} - M_{{}^{90}Sr}) = -931,5(89,907144 - 89,907730) \\ &= 0,546 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Средња енергија емитованог електрона дата је емпиријском формулом

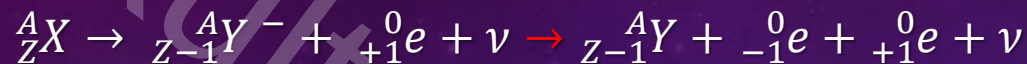
$$\bar{E} \approx 0,33E_{max} \left(1 - \frac{\sqrt{Z}}{50}\right) \left(1 + \frac{\sqrt{E_{max}}}{4}\right)$$

ОАС-Радиохемија и нуклеарна хемија

СПЕКТАР β -РАСПАДА

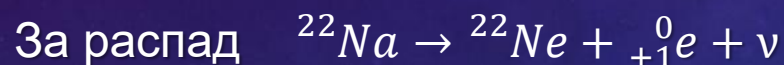


ПОЗИТРОНСКИ (β^+) РАСПАД



$$Q_{\beta^+} = -931,5 (M_{Z-1} + 2M_e - M_Z)$$

$$Me = 931,5 \cdot 0,000549 \text{ MeV} = 0,511 \text{ MeV}$$



$$\begin{aligned} Q_{\beta^+} &= -931,5(21,991385 - 21,994437) - 2 \cdot 0,511 \text{ MeV} \\ &= 1,821 \text{ MeV} \end{aligned}$$

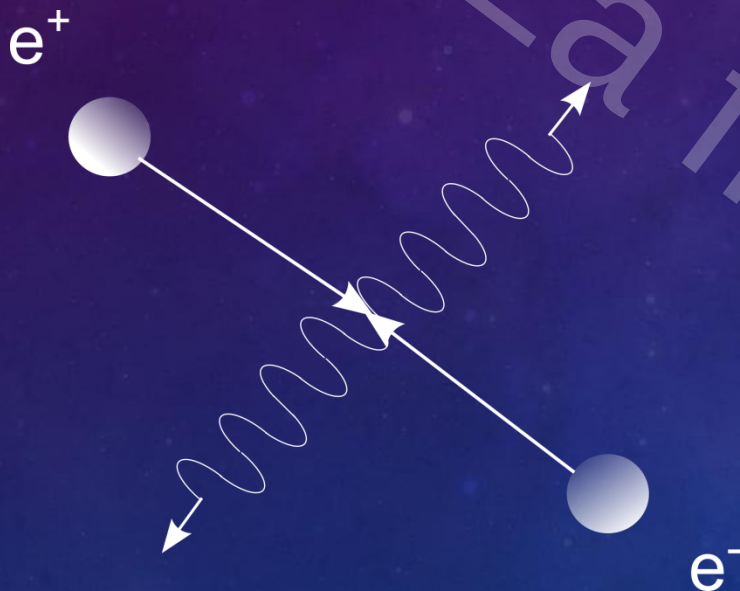
ДИРАКОВА ЈЕДНАЧИНА И ПОЗИТОН

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

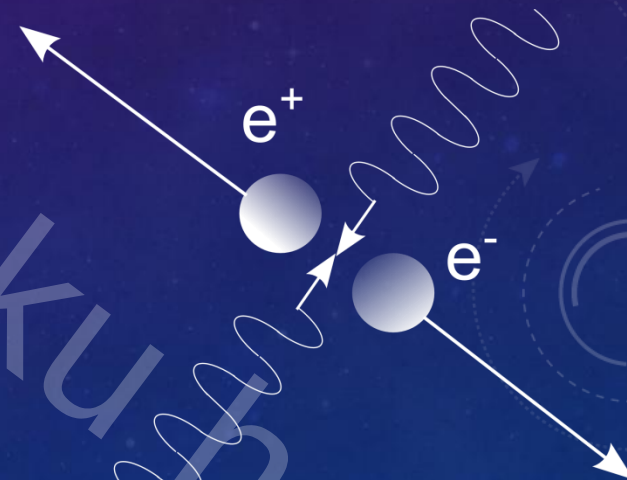
- Негативна енергија електрона ??
- Dirac : Сва стања негативне енергије су попуњена ?
- Fayman: нова честица са масом електрона али са супротним наелектрисање

ЕЛЕКТРОН И ПОЗИТРОН-АНТИЧЕСТИЦЕ

- Судар електрона и позитрона доводи до њихове анихилације при чему настају два гама кванта енергије по 0,511 MeV који се разилазе под углом од 180°



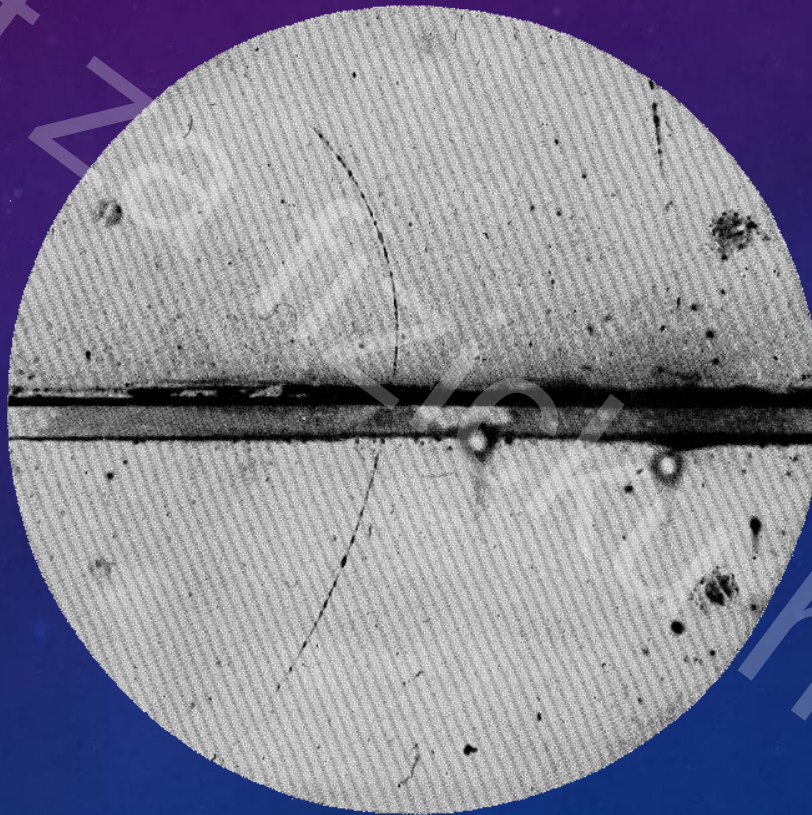
Анихилација



Стварање парова

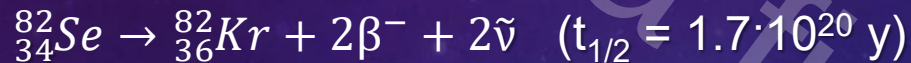
ОТКРИЋЕ ПОЗИТРОНА

- Андерсон је проучавао трагове космичког зрачења у Wilson – овој комори и нашао траг честице са “необичним” понашањем.



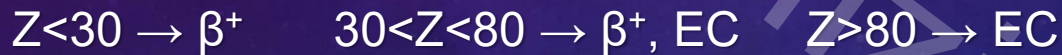
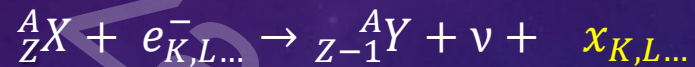
ДВОСТРУКИ В-РАСПАД

- Крајње неуобичајен вид распада који се јавља код парно-парних језгара са дугачким временом полураспада



ЕЛЕКТРОНСКИ ЗАХВАТ

- Конкурентски процес β^+



$$Q_{EC} = -931,5(M_{Z-1}^A - M_Z^A) = 0,861 \text{ MeV}$$

УЗМАК ЈЕЗГРА КОД В РАСПАДА



Diagram illustrating a beta-plus decay process. A large nucleus (labeled γ) recoils to the left. A small positron (represented by a white dot) and a small neutrino (represented by a black dot) move to the right.

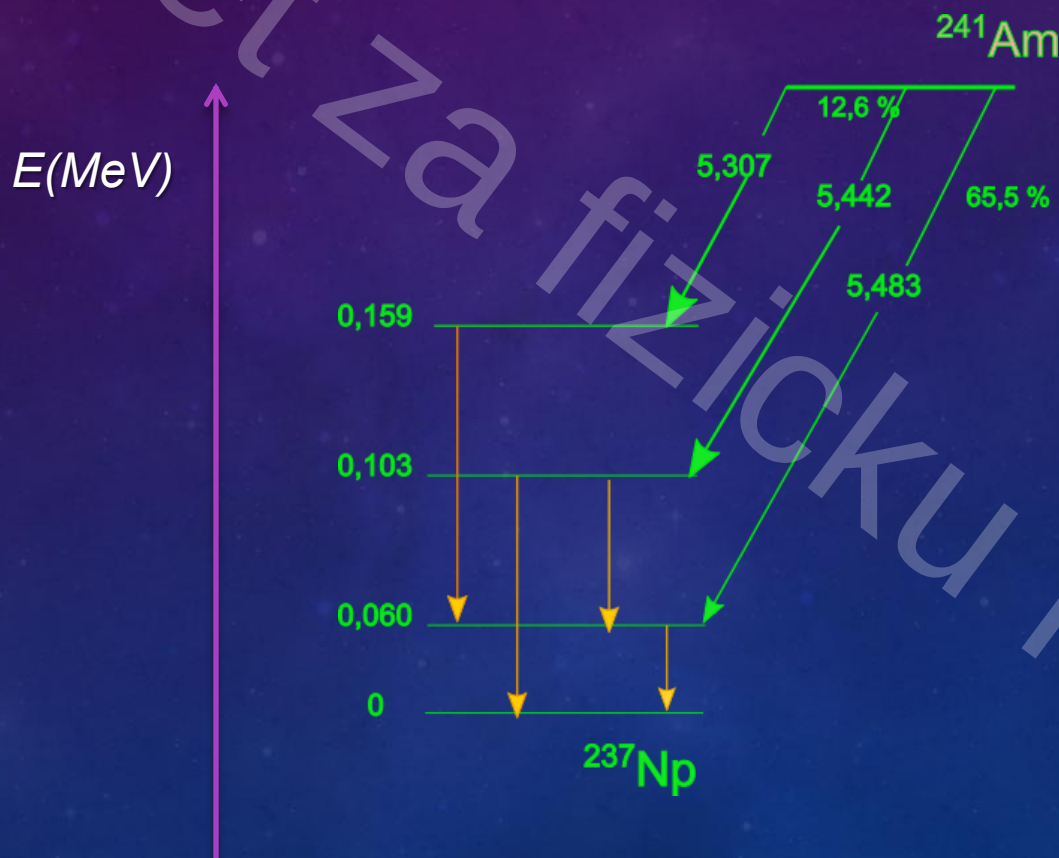
$$E_d = m_e \frac{E_{max}}{m_d} + \frac{E_{max}^2}{2m_d c^2}$$

$E_d \approx 100 \text{ V} \rightarrow$ може изазвати раскидање веза у молекулу



ГАМА РАСПАД (IT)

- У α и β радиоактивним распадима често настаје потомак у побуђеном стању које се даље деекситира емисијом електромагнетног зрачења – γ зрачења.



ЕНЕРГИЈА УЗМАКА ЈЕЗГРА КОД γ -РАСПАДА

- Закон одржања импулса

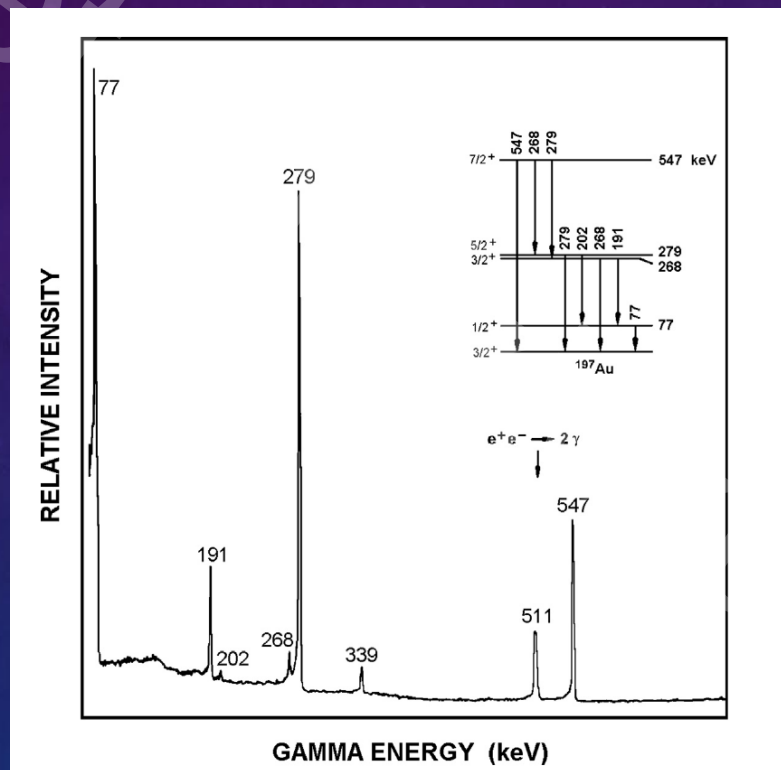
$$\frac{E_{\gamma}}{c} = -m_d v_d$$

$$E_{kd} = \frac{E_{\gamma}^2}{2m_d c^2}$$

Колика је енергија узмака језгра ^{137m}Ba при емисији γ -фотона енергије 661 keV?

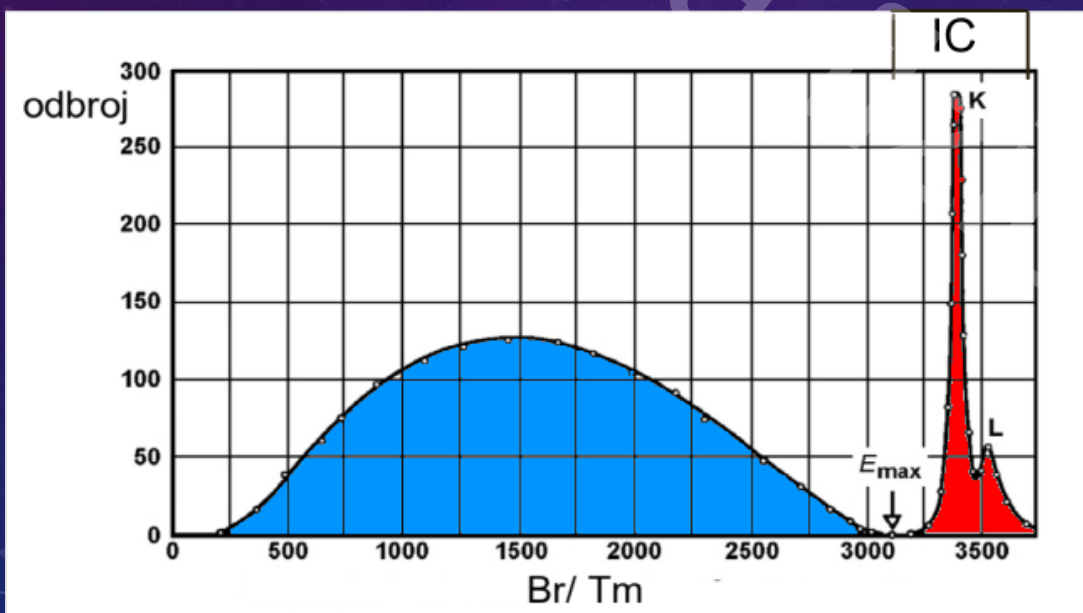
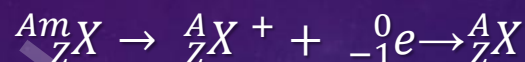
$$E_{kd} = \frac{(0,661 \cdot \text{MeV})^2}{2 \cdot 136,905827 \cdot 931,5 \text{ MeV}} = 1,71 \cdot 10^{-6} \text{ MeV} = 1,71 \text{ eV}$$

СПЕКТАР γ -РАСПАДА



ИНТЕРНА КОНВЕРЗИЈА (IC)

- У случајевима када се таласне функције (орбитале) преклапају језгро може пренети директно енергију електронима из K, L... љуске који напуштају атом са тачно одређеним енергијама. У овом процесу **нема емисије неутрина**



Конверزيونи коефицијент(и)

$$\alpha_K = \frac{N_K}{N_\gamma}$$

$$\alpha_{K+L+\dots}({}^{137m}\text{Ba}) = 0,112$$

СПОНТАНА ФИСИЈА (SF)

- Карактеристична за језгра са високим Z
- Откривена 1940 код језгра ^{238}U као вид распада компетитиван алфа распаду
- Језгро се дели на два тешка фрагмента – фисионе продукте

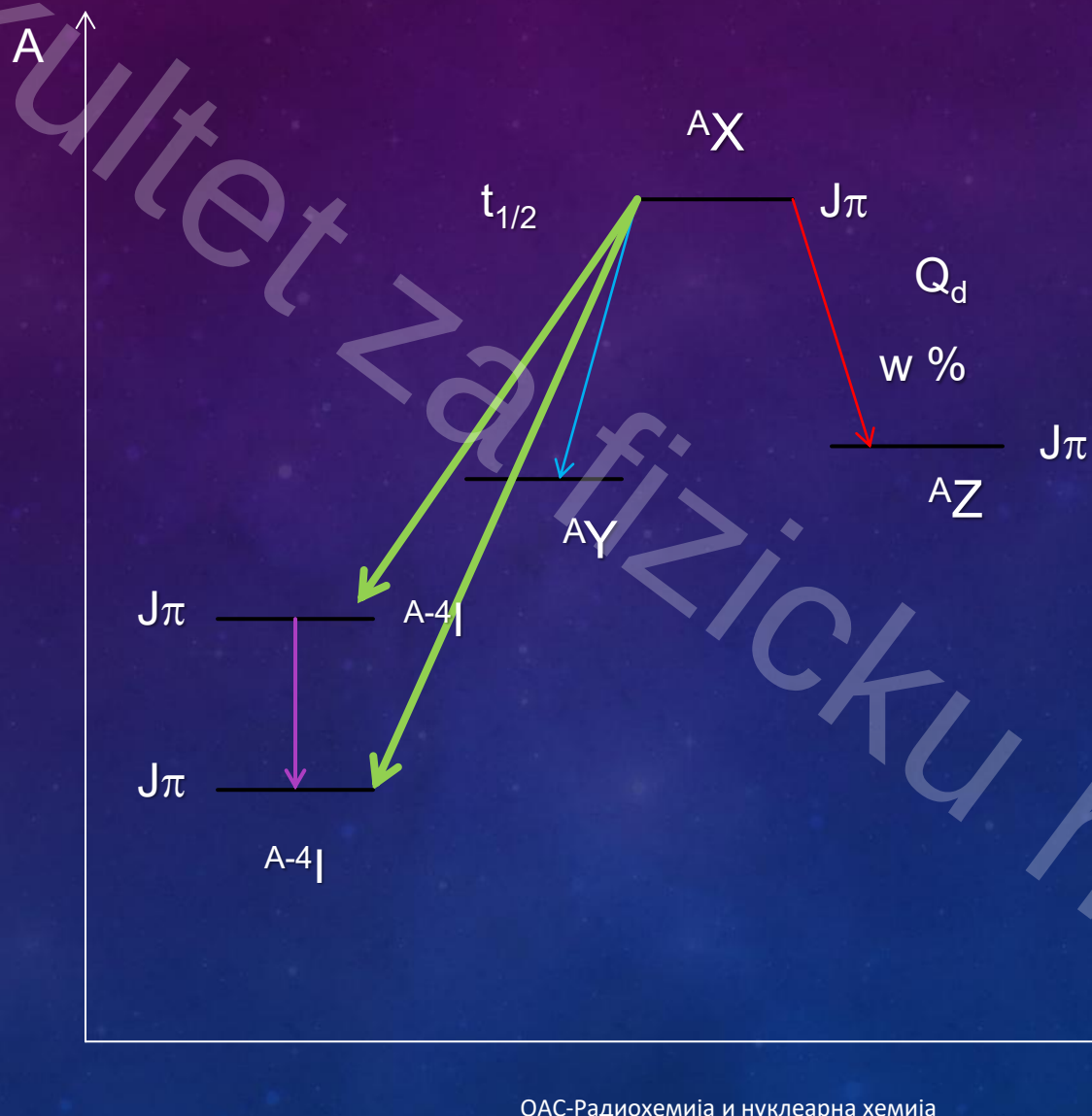


Нуклид	Z	Време полураспада (γ)
^{238}U	92	$8 \cdot 10^{15}$
^{240}Pu	94	$1,2 \cdot 10^{11}$
^{244}Cm	96	$1,4 \cdot 10^7$
^{252}Cf	98	66
^{256}Fm	100	$3 \cdot 10^{-4}$

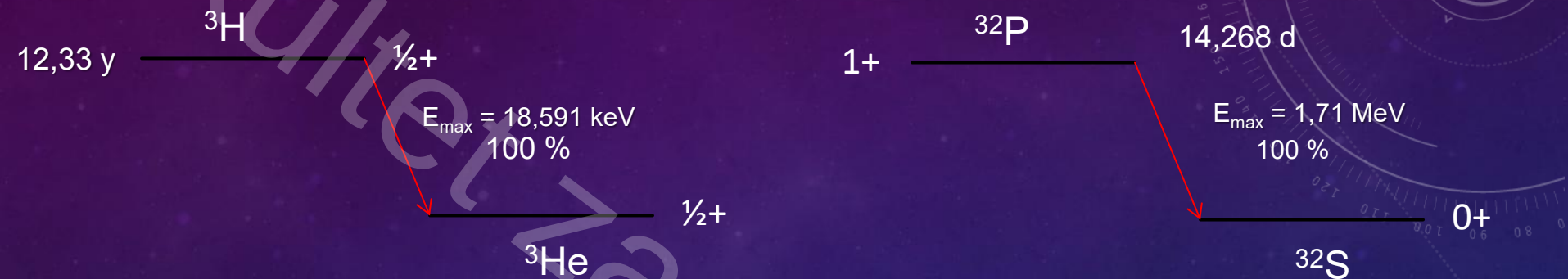
ЕГЗОТИЧНИ РАСПАДИ

- Емисија протона код језгара који су веома дефицитарни у неутронима
- ^{53m}Co (1,5 % емисија протона)
- Емисија неутрона код радионуклида који су продукт фисије – закаснили неутрони
- ^{12}C и ^{16}O емисија је енергетски могућа код тешких алфа емитера

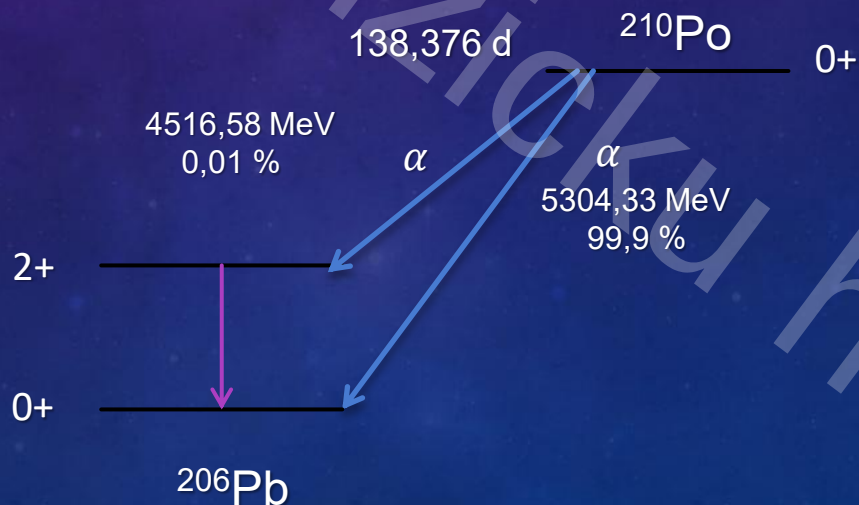
ШЕМЕ РАСПАДА-ПРАВИЛА



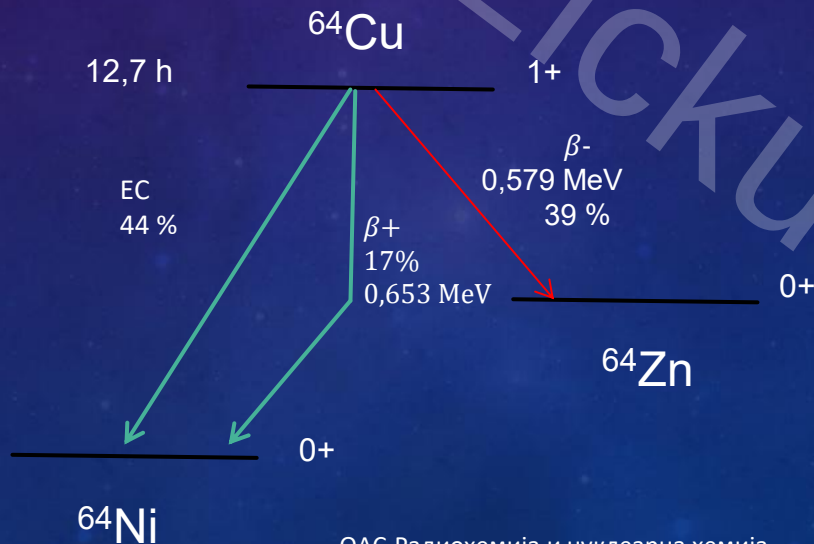
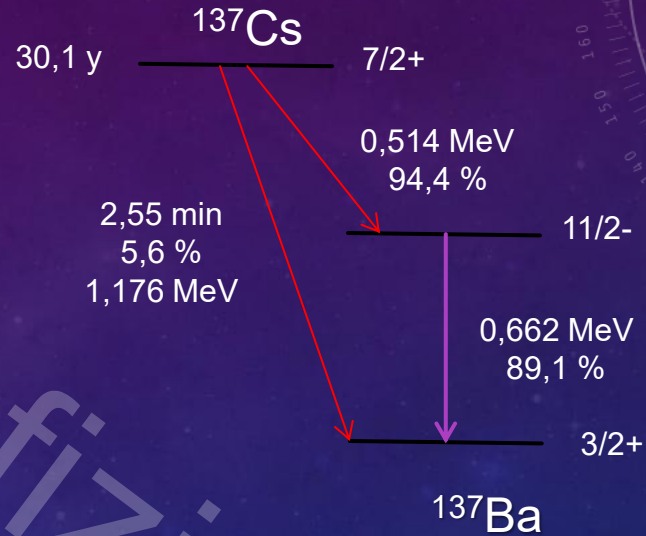
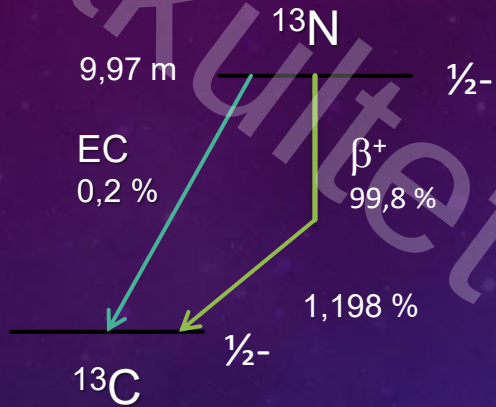
ШЕМЕ РАСПАДА



- Просте шеме распада



ШЕМЕ РАСПАДА (2)



Z



ПРОЦЕСИ КОЈИ ПРАТЕ РАДИОАКТИВНИ РАСПАД

- Емисија карактеристичног х-зрачења
- Ожеови (Auger) електрони
- Раскидање хемијских веза

КИНЕТИКА РАДИОАКТИВНОГ РАСПАДА

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГ РАСПАДА

- Полази се од следећих претпоставки
 1. Вероватноћа распада је **независна од историје језгра**
 2. Вероватноћа распада је **независна од окружења језгра**
 3. Вероватноћа је **иста за све језгра истог типа и исте енергије екситације**

Вероватноћа да ће у времену Δt доћи до радиоактивног распада пропорционална је том времену

$$p = \lambda \Delta t$$

Вероватноћа да језгро преживи овај интервал је

$$1-p = 1 - \lambda \Delta t$$

- Вероватноћа да језгро преживи и време $t=2\Delta t$ је (и и догађај)

$$(1-p)_2 = (1-\lambda\Delta t)(1-\lambda\Delta t) = (1-\lambda\Delta t)^2$$

- Вероватноћа да језгро преживи и време $t=n\Delta t$ је стога

$$(1-p)_n = (1-\lambda\Delta t)^n$$

Овај израз је валидан само за $\Delta t \ll t$ односно када $n \rightarrow \infty$. Тада имамо

$$(1-p) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n = e^{-\lambda t}$$

јер је $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + a \frac{x}{n}\right)^n = e^{ax}$

- Са друге стране вероватноћа распада може се представити као

$$p = \frac{N_r}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0}$$

$$1 - p = \frac{N}{N_0}$$

Комбиновањем добијамо...

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

...закон радиоактивног распада

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

АКТИВНОСТ УЗРОКА

- Логаритмовањем облик једначине радиоактивног распада добијамо

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

- Диференцирањем ове једначине по t добијамо

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

λ је константа распада (радиоактивна константа) и представља **верованоћу одигравања распада**

- Активност је дефинисана као брзина радиоактивног распада односно број распада у јединици времена

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

Стога важи да је

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

и

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

Уређаји који мере радиоактивност не могу регистровати сваки распад због коначне ефикасности детекције ε

$$R = \varepsilon A \quad \text{односно}$$

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

- Специфична активност узорка је дефинисана као активност по његовој маси, количини или запремини

$$S_A = \frac{A}{m} = \lambda \frac{N_A}{m}$$

$$S_A = \frac{A}{V}$$

ПАРАМЕТРИ РАДИОАКТИВНОГ РАСПАДА

- Константа распада λ (s^{-1})
- Средње време живота радионуклида

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \text{ (s)}$$

- Време полураспада је време које је потребно да број језгара радионуклида опадне на половину

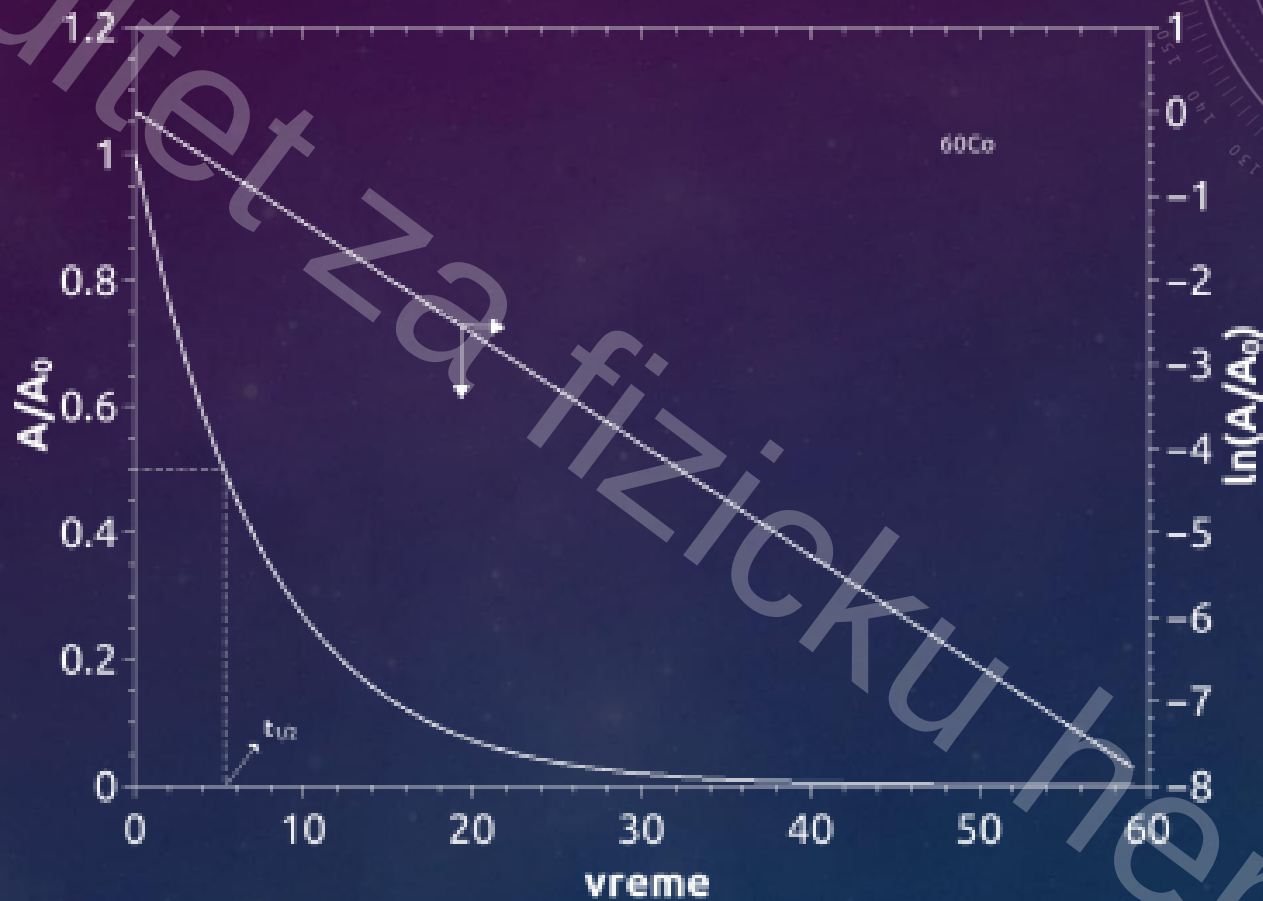
$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2} \Rightarrow$$

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

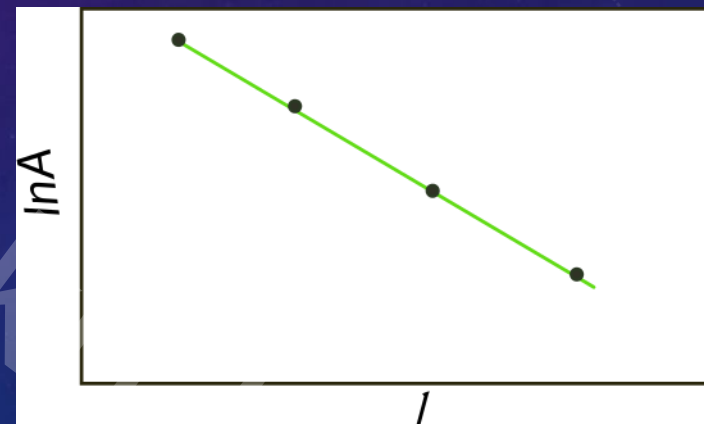
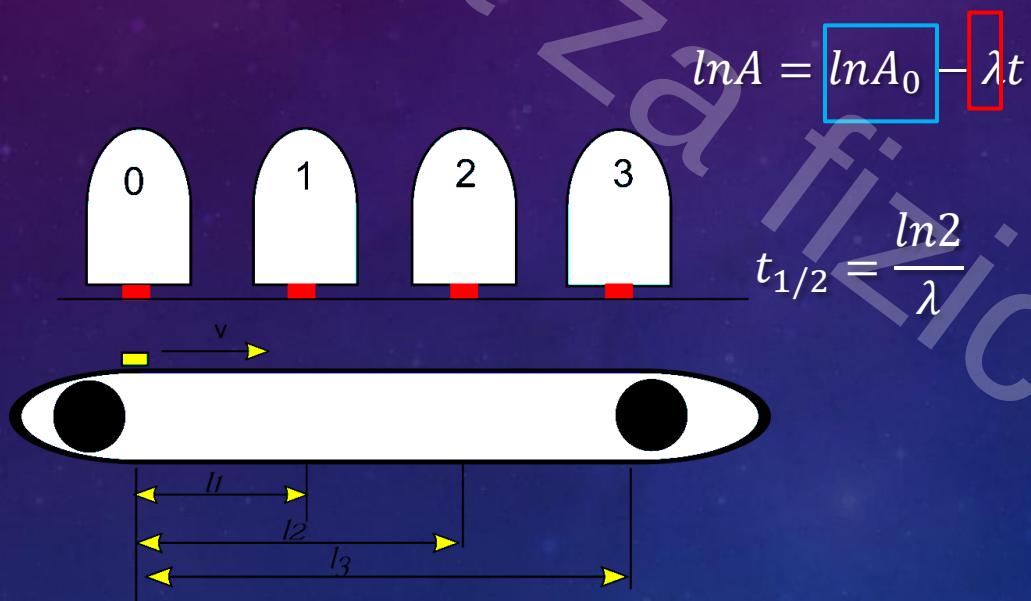
ЈЕДИНИЦЕ ЗА РАДИОАКТИВНОСТ

- SI јединица за радиоактивност је Бекерел (Bq) и дефинисан је као
$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ распад/ s}$$
- Измерени одброј R на уређају за мерење радиоактивности има јединицу одброј/s (*counts/s*)
- Већа једница је Кири (Ci) чија вредност износи
$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ распада/s}$$
- Раније се 1 Ci дефинисао као активност 1 g ^{226}Ra
- Специфична активност има јединице **распад/g s**

ОДРЕЂИВАЊЕ ВРЕМЕНА ПОЛУРАСПАДА (ПРОСТ РАСПАД)



- Случај веома кратких времена полураспада



$$t = l/v$$

- Случај дугоживећих изотопа ($5\text{-}10^9$ година)

- Помоћу одређивања апсолутних активности

Погодна за одређивање $t_{1/2}$ радионуклида који улазе у састав елемената присутних у природи (нпр ^{40}K).

- Калориметријски метод (уколико су познате енергије ε честица које радионуклид емитује)

Апсолутна активност се одређује на основу енергије E предате материјалу калориметра у току времена Δt

$$A = \frac{E/\Delta t}{\varepsilon} = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$$

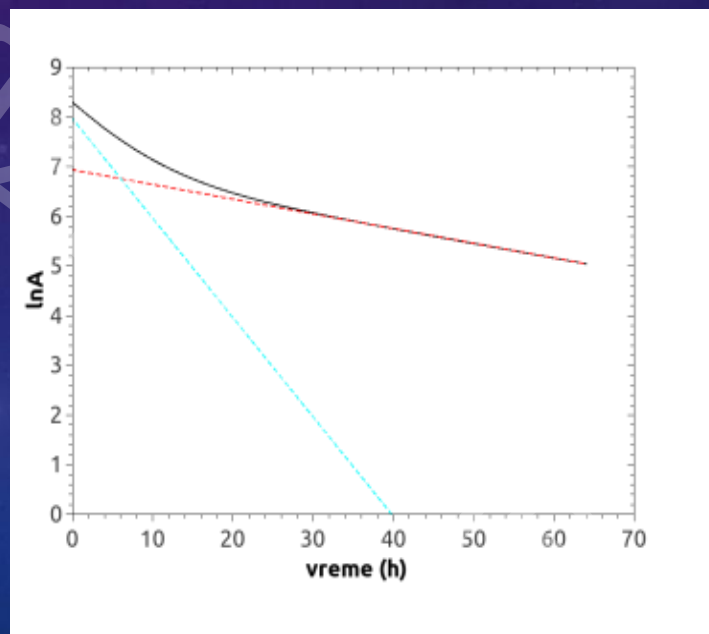
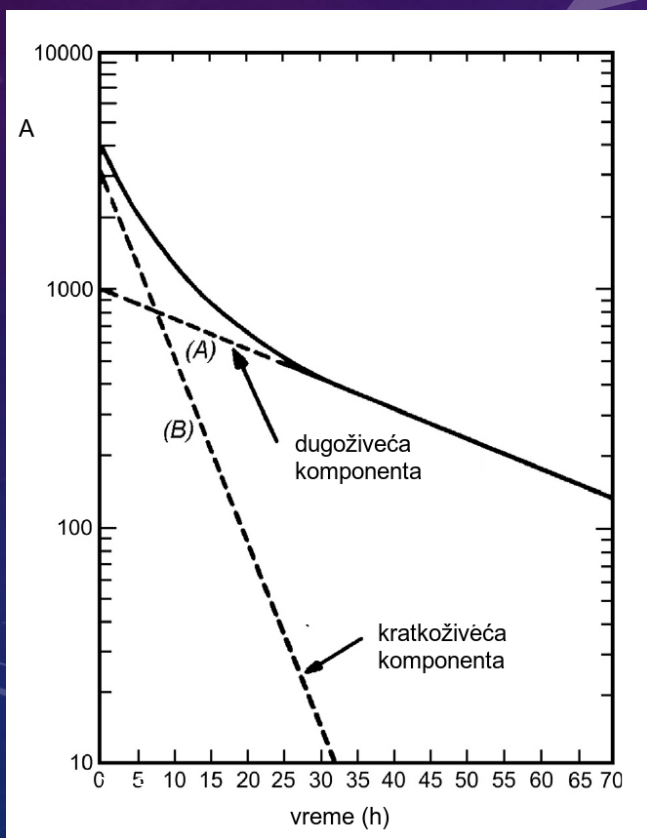
$$\lambda = \frac{A}{N}$$

РАСПАД У СМЕШИ ГЕНЕТСКИ НЕЗАВИСНИХ НУКЛИДА

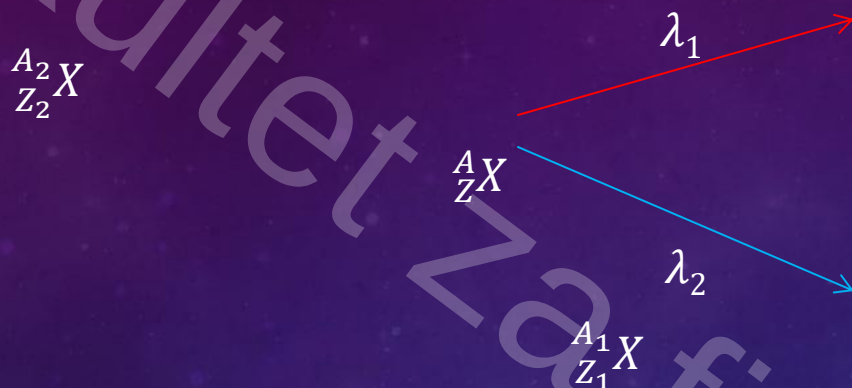
$$A_1 = A_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$A_2 = A_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

$$A = A_1 + A_2$$



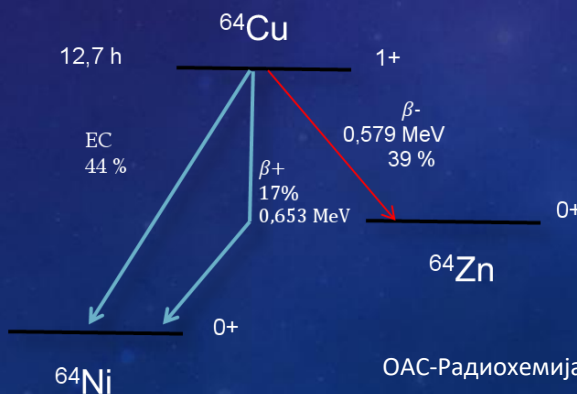
РАСПАД СА ГРАНАЊЕМ



Мери се само

$$\lambda_{ukupno} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots$$

$$A = A_0 e^{-\lambda_{ukupno} t}$$



$$\begin{aligned}\lambda_{EC} &= 0,44 \lambda_{ukupno} \\ \lambda_{\beta^+} &= 0,17 \lambda_{ukupno} \\ \lambda_{\beta^-} &= 0,39 \lambda_{ukupno}\end{aligned}$$

УЗАСТОПНИ РАСПАДИ – ОПШТИ СЛУЧАЈ

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad -\frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 N_1 = A_1$$

$$N_2 = N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad \frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

Множењем обе стране једначине са $e^{\lambda_2 t}$ добија се

$$\frac{dN_2}{dt} e^{\lambda_2 t} + \lambda_2 N_2^0 e^{\lambda_2 t} = \lambda_1 N_1^0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$$

$$\frac{d}{dt} [N_2 e^{\lambda_2 t}] = \lambda_1 N_1^0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$$

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \int \lambda_1 N_1^0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} dt = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_1^0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + C$$

константу C добићемо када као почетни услов узмемо да је $t=0$. Тада је $N_2 = N_2^0$ па за C добијамо

$$C = N_2^0 - \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_1^0. \quad \text{Заменом у претходну једначину добија се}$$

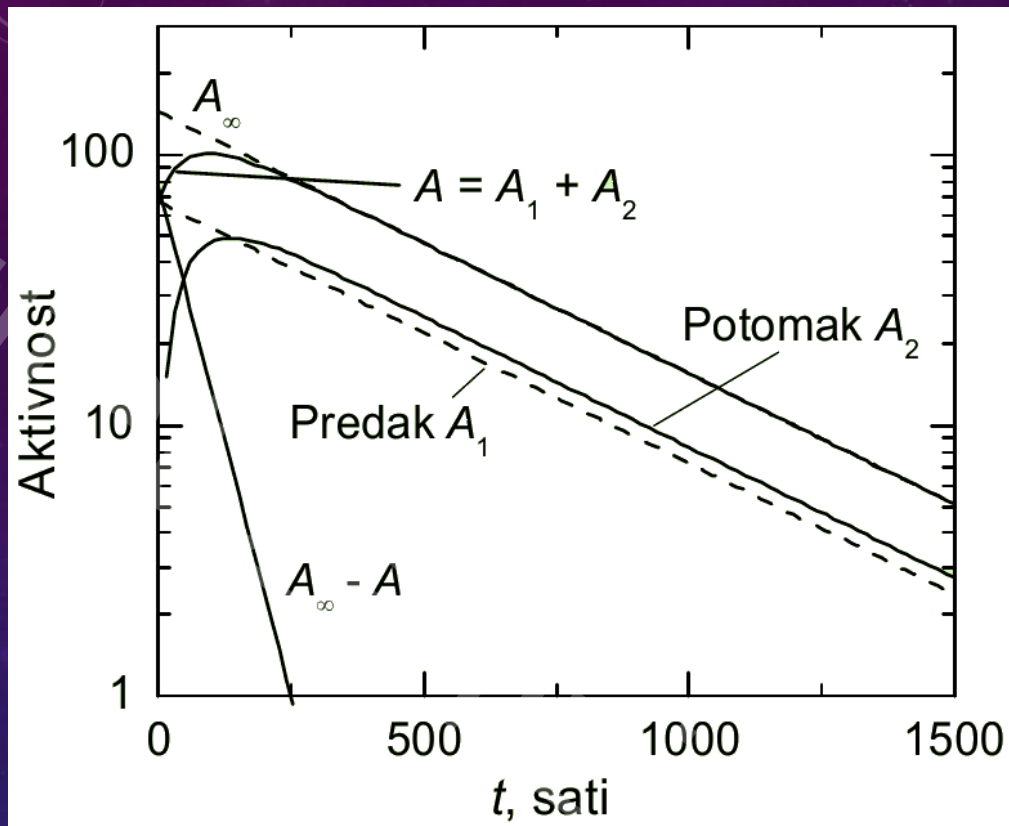
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

Ако је у времену $t=0$ и $N_2^0=0$ једначина се сводина

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

- Привремена равнотежа $\lambda_1 < \lambda_2$
- После довољно дугог времена $e^{-\lambda_2 t} \ll e^{-\lambda_1 t}$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1$$



$$A = A_1 + A_2 = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Када је $t \gg t_{1/2}$ $A = A_\infty$ и $e^{-\lambda_2 t} \ll 1$

$$A_\infty = A_1 + A_2 = \left(\lambda_1 N_1^0 + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 \right) e^{-\lambda_1 t}$$

$$\ln A_\infty = D - \lambda_1 t$$

$$A_{\infty} - A(t) =$$

$$= \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$A_{\infty} - A(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_2 t}$$

$$\ln(A_{\infty} - A) = D_1 - \lambda_2 t$$

СЕКУЛАРНА РАВНОТЕЖА

- $\lambda_1 \ll \lambda_2 \Rightarrow N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} = N_1^0 \quad e^{-\lambda_1 t} \approx 1$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

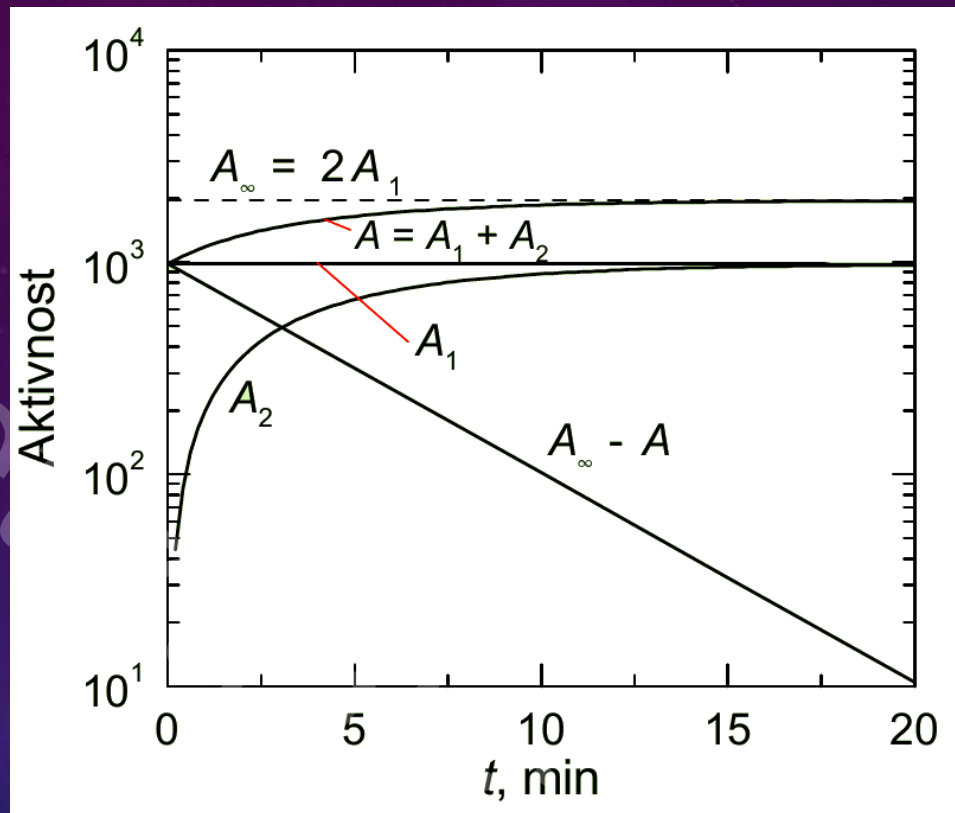
$$A_1 = \lambda_1 N_1^0 \approx A_1^0$$

$$A_2 = \lambda_2 N_2 = \lambda_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

Када је $t > 10 t_{1/2}$

$$A_2 = A_1^0 = A_1$$

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots$$



$$A = A_1 + A_2 = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$A_\infty = A_1 + A_2 = \left(\lambda_1 N_1^0 + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2} N_1^0 \right) e^{-\lambda_1 t} = 2\lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$A_\infty - A = 2A_1 - (A_1 + A_2) = A_1 - A_2 = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$\ln(A_\infty - A) = \ln A_0 - \lambda_2 t$$

СЛУЧАЈ НЕПОСТОЈАЊА РАВНОТЕЖЕ

