

TABELA IZOTOPOV



Chart of the Nuclides

Nuclides and Isotopes, 16th edition

Seminar pri predmetu
Jedrska tehnika in energetika

Profesor: dr. Iztok Tiselj

Avtor: Miro Urbanč
November 2011

Periodni sistem elementov

- Mendelejev oblikoval zgradbo, ki temelji na naraščajoči atomski masi (1869),
- Sodobni periodni sistem, Mosleyev zakon periodičnosti, ki temelji na vrstnem številu;
- tabelarični prikaz znanih kemijskih elementov;
- elementi so prikazani po vrsti glede na atomsko št. Z;
- razdeljeni so po periodah – vodoravne vrstice;
- in po skupinah – stolpci. Elementi v isti skupini imajo podobne kemijske lastnosti;
- posebej še Lantanoidi in Aktinoidi.

PERIODNI SISTEM ELEMENTOV

Legenda oznak

1,01 1 H vodik																	4,00 2 He helij
6,94 3 Li litij	9,01 4 Be berilij	Prehodni elementi										10,81 5 B bor	12,01 6 C ogljik	14,01 7 N dušik	16,00 8 O kisik	19,00 9 F fluor	20,18 10 Ne neon
22,99 11 Na natrij	24,31 12 Mg magnezij											26,98 13 Al aluminij	28,09 14 Si silicij	30,97 15 P fosfor	32,07 16 S žveplo	35,45 17 Cl klor	39,95 18 Ar argon
39,10 19 K kalij	40,08 20 Ca kalcij	44,96 21 Sc skandij	47,88 22 Ti titanij	50,94 23 V vanadij	52,00 24 Cr kromij	54,94 25 Mn mangan	55,85 26 Fe železo	58,93 27 Co kobalt	58,93 28 Ni nikelj	63,55 29 Cu bakar	65,39 30 Zn cink	69,72 31 Ga galij	72,61 32 Ge germanij	74,92 33 As arsen	78,96 34 Se selen	79,90 35 Br brom	83,80 36 Kr kripton
85,47 37 Rb rubidij	87,62 38 Sr stroncij	88,91 39 Y itrij	91,22 40 Zr cirkonij	92,91 41 Nb niobij	95,94 42 Mo molibdenij	98,91 43 Tc tehnecij	101,07 44 Ru rutenij	102,91 45 Rh rodij	106,42 46 Pd palačij	107,87 47 Ag srebro	112,41 48 Cd kadmij	114,82 49 In indij	118,71 50 Sn olov	121,76 51 Sb antimon	127,60 52 Te telur	126,90 53 I jod	131,29 54 Xe ksenaon
132,91 55 Cs cezij	137,33 56 Ba barij	138,91 57 La lantani	178,49 72 Hf hafnij	180,95 73 Ta tantal	183,85 74 W volfram	186,21 75 Re renij	192,22 76 Os osmij	195,08 77 Ir iridij	196,97 78 Pt platina	196,97 79 Au zlato	200,59 80 Hg ž. srebro	204,38 81 Tl talij	207,20 82 Pb svinec	208,98 83 Bi bismut	(209) 84 Po polonij	(210) 85 At astat	(222) 86 Rn radon
(223) 87 Fr francij	(226) 88 Ra radij	(227) 89 Ac aktinij	(262) 104 Ku kurčatovij	(262) 105 Ha hantij													
Lantanoidi		140,12 58 Ce cezij	140,91 59 Pr praseodimij	144,24 60 Nd neodimij	144,91 61 Pm prometij	150,36 62 Sm samarij	151,97 63 Eu evropsij	157,25 64 Gd gadolinij	158,93 65 Tb terbij	162,50 66 Dy dijonacij	164,93 67 Ho holmij	167,26 68 Er erbij	168,93 69 Tm tormij	173,04 70 Yb jodij	174,97 71 Lu lutecij		
Aktinoidi		232,04 90 Th torij	231,04 91 Pa protaktinij	238,03 92 U uran	(237) 93 Np neptunij	(244) 94 Pu plutonij	(243) 95 Am americij	(247) 96 Cm kermij	(247) 97 Bk berkelij	(251) 98 Cf kalifornij	(252) 99 Es einsteinij	(257) 100 Fm fermij	(258) 101 Md mendeljevij	(259) 102 No nobelij	(262) 103 Lr lancencij		

TABELA IZOTOPOV-zgodovina

- z uporabo novih tehnik pri raziskavah elementov in pridobivanju novih elementov, so nastajale nove tabele in grafikoni, ki so povzemali lastnosti elementov;
- Ena prvih tabel je bila objavljena 1935 - Giorgio Fea;
- Emilio Serge (1946) je objavil zelo podrobno tabelo, podobno današnjim , ki je vsebovala podatke o masah, deležih, absorbcijskih presekih, razpolovnih časih in vrsti radioaktivnega razpada za znane nuklide;
- Pri obeh : navpična os N, vodoravna os Z;
- Prva izdaja tabele nuklidov, ki sem jo vzela za referenco, je bila objavljena leta 1946 (General Electric Company). Z razliko od zgoraj navedenih tabel ta uporablja za navpično os št. protonov Z in št. nevtronov N za vodoravno os;

TABELA IZOTOPOV - zgradba

- tabela izotopov (ang. Chart of the nuclides) prikazuje vse znane izotope kemijskih elementov in podaja njihove informacije;
- 16 izdaja vsebuje podatke o približno 3100 znanih izotopih in 580 izomerih (dovolj dolgoživi > 1 sek.);
- vsak izotop zavzema en kvadrat v celotni mreži (Z v odvisnosti od N);
- vsaka vrstica predstavlja en element (enako atomsko št. Z), v kateri so vsi znani izotopi tega elementa;
- vsak stolpec pa predstavlja izotope z enakim št. nevtronov N-IZOTONI;
- Izotopi, ki ležijo na diagonali (od levo zgoraj proti desno spodaj) imajo isto masno št. A – IZOBARI. (npr. ^{40}Ca , ^{40}K , ^{40}Ar);

TABELA IZOTOPOV - zgradba

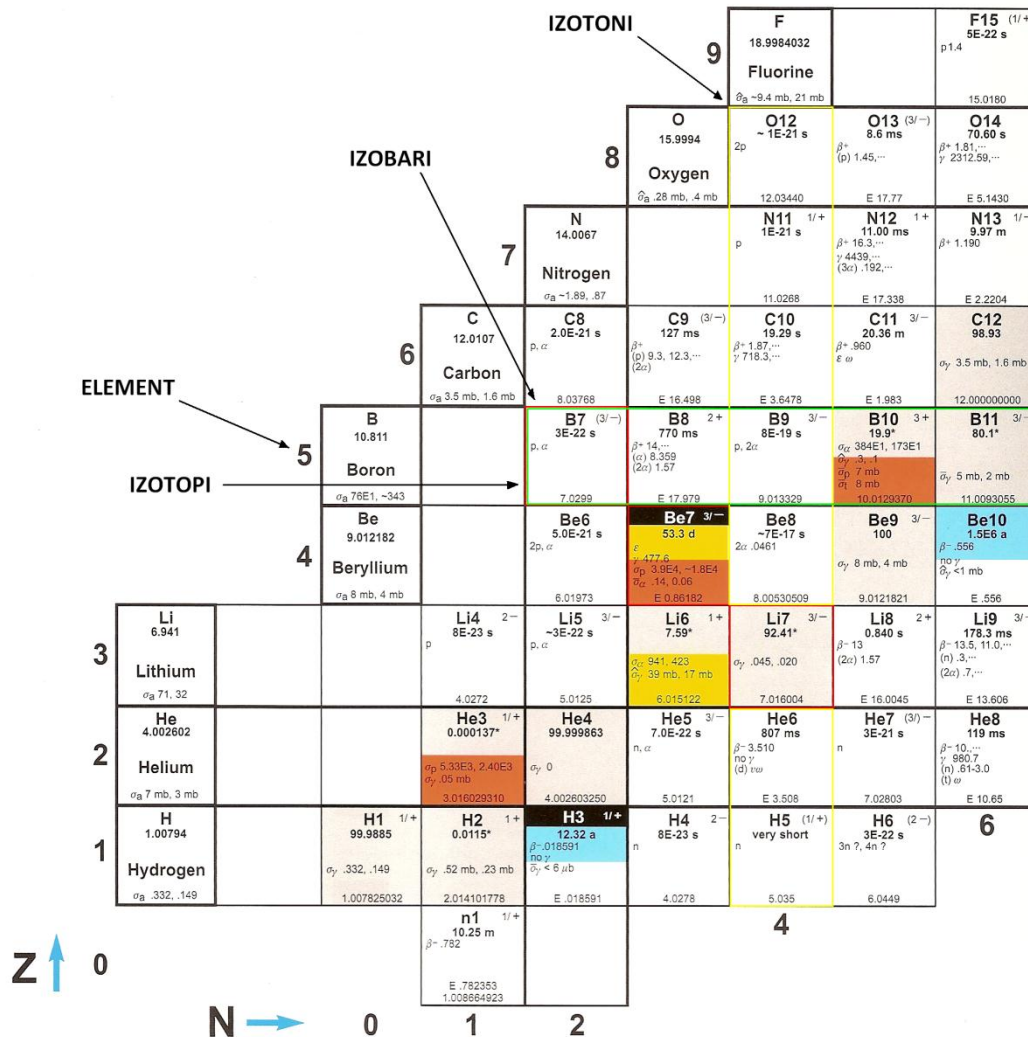
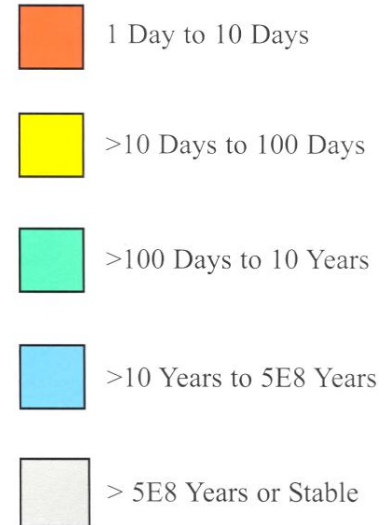


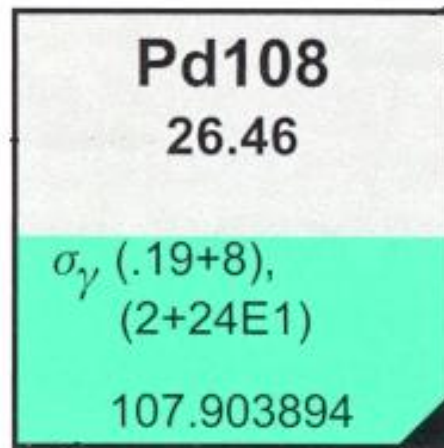
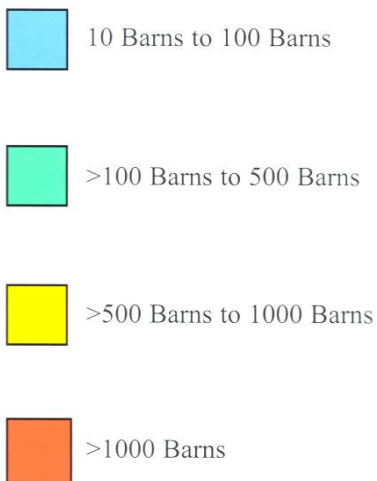
TABELA IZOTOPOV - barve

razpolovni čas $T_{1/2}$ (zgornja polovica kvadratka)

Colors Used for Half-Lives*



Colors Used for Neutron Absorption Properties**



presek za zajetje termalnih nevtronov
(spodnja polovica kvadratka)

** Appear in Lower Half of Nuclide Block

* Appear in Upper Half of Nuclide Block

TABELA IZOTOPOV - informacije

- Stabilni izotopi vsebujejo informacije o:
 - kemijski simbol in masno število A (symbol, mass number)
 - spinsko število in parnost (spin and parity)
 - indikacijo, ali je fisijski produkt ^{235}U , ^{233}U ali ^{239}Pu (fission product)
 - izotopski delež (atom percent abundance)
 - masa izotopa - C-12 skala (isotopic mass)
 - mikroskopski presek za zajetje termalnih nevtronov in resonančni integral v barnih (Thermal neutron capture cross section, Resonance integral)

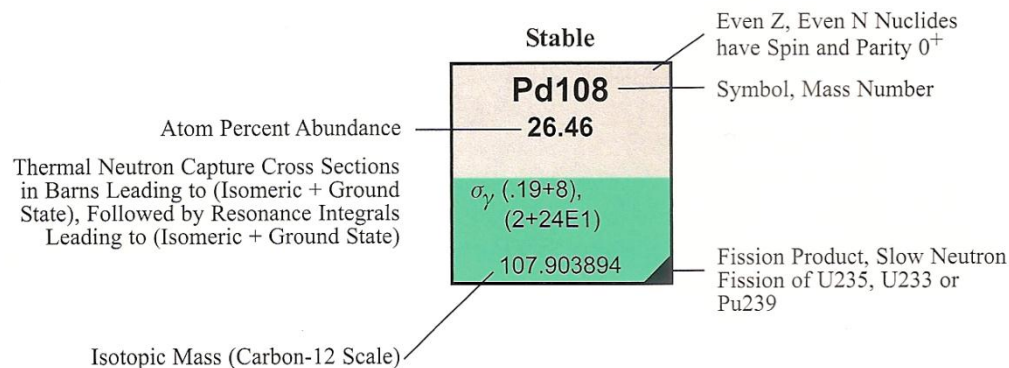


TABELA IZOTOPOV - informacije

- Radioaktivni izotopi vsebujejo informacije o:
 - kemijski simbol in masno število A (symbol, mass number)
 - spinsko število in parnost (spin and parity)
 - indikacijo, ali je fisijski produkt ^{235}U , ^{233}U ali ^{239}Pu (fission product)
 - razpolovni čas $T_{1/2}$ (half life)
 - vrsta radioaktivnega razpada in energijo v MeV za α in β ter v keV za γ (mode of decay and energy)
 - intenzivnost vrste radioaktivnega razpada, kadar manj kot 1% (ω)
 - vzbujeno stanje (isomeric (metastable) states)
 - mikroskopski presek za zajetje termalnih nevtronov in resonančni integral v barnih (Thermal neutron capture cross section, Resonance integral)
 - naravni radioaktivni izotopi in člani naravnih radioaktivnih vrst so označeni z črnim trakom na vrhu kvadrata

TABELA IZOTOPOV - informacije

Naturally Occurring or Otherwise Available but Radioactive

Symbol, Mass Number — **La138 5+** — Spin and Parity

Atom Percent Abundance — **0.090**

Half-Life — **1.05E11 a**

Modes of Decay in Order of Prominence with Energy of Radiation in MeV for Alpha and Beta; keV for Gammas

Thermal Neutron Capture Cross Section, Followed by Resonance Integral

Beta Disintegration Energy Followed by Isotopic Mass

ϵ, β^- .25	137.907107 Beta Disintegration Energy Followed by Isotopic Mass
γ 1435.8, 788.7	
σ_γ ~57.4E2	
E 1.04	

Member of Naturally Radioactive Decay Chain

Symbol, Mass Number — **Po218**

Historical Symbol — **RaA** — Half-Life — **3.10 m**

Modes of Decay and Energy in MeV for Alpha and Beta; keV for Gamma

ω Indicates Decay Mode Intensity (See Symbol List)

Isotopic Mass — **218.008966**

α 6.0024	218.008966 Isotopic Mass
γ 510.	
β^- ω	

Two Isomeric States One Stable

Spin and Parity of Metastable State, $11/2^-$

Half-Life — **13.60 d** — **7.68** — Spin and Parity of Ground State, $1/2^+$

Atom Percent Abundance

Modes of Decay with Energy of Radiation in keV

Thermal Neutron Capture Cross Section in Barns, Followed by Resonance Integral in Barns

Isotopic Mass — **116.902954** — Fission Product, Slow Neutron Fission of U235, U233 or Pu239

Radioactive Isomer — Stable Ground State

IT 156.0, e-	116.902954 Fission Product, Slow Neutron Fission of U235, U233 or Pu239
γ 158.6	
σ_γ 1.1, ~15	

Two Isomeric States Both Radioactive

Spin and Parity of Metastable State — **2+** — Spin and Parity of Ground State — **5+**

Symbol, Mass Number — **Co60**

Half-Lives — **10.47 m** — **5.271 a**

Modes of Decay and Energy in Order of Intensity; ... Indicates (Where Shown) Additional Energy Not Listed.

Thermal Neutron Capture Cross Section in Barns Followed by Resonance Integral in Barns

Beta Disintegration Energy in MeV

Radioactive m-State Isomer — Radioactive G.S. Isomer

IT 58.6, e-	116.902954 Fission Product, Slow Neutron Fission of U235, U233 or Pu239
β^- 1.6 ω, \dots	
γ 1332.5	
ω, \dots	
σ_γ 6E1, 2.3E2	
σ_γ 2.0, 4	
E 2.8239	

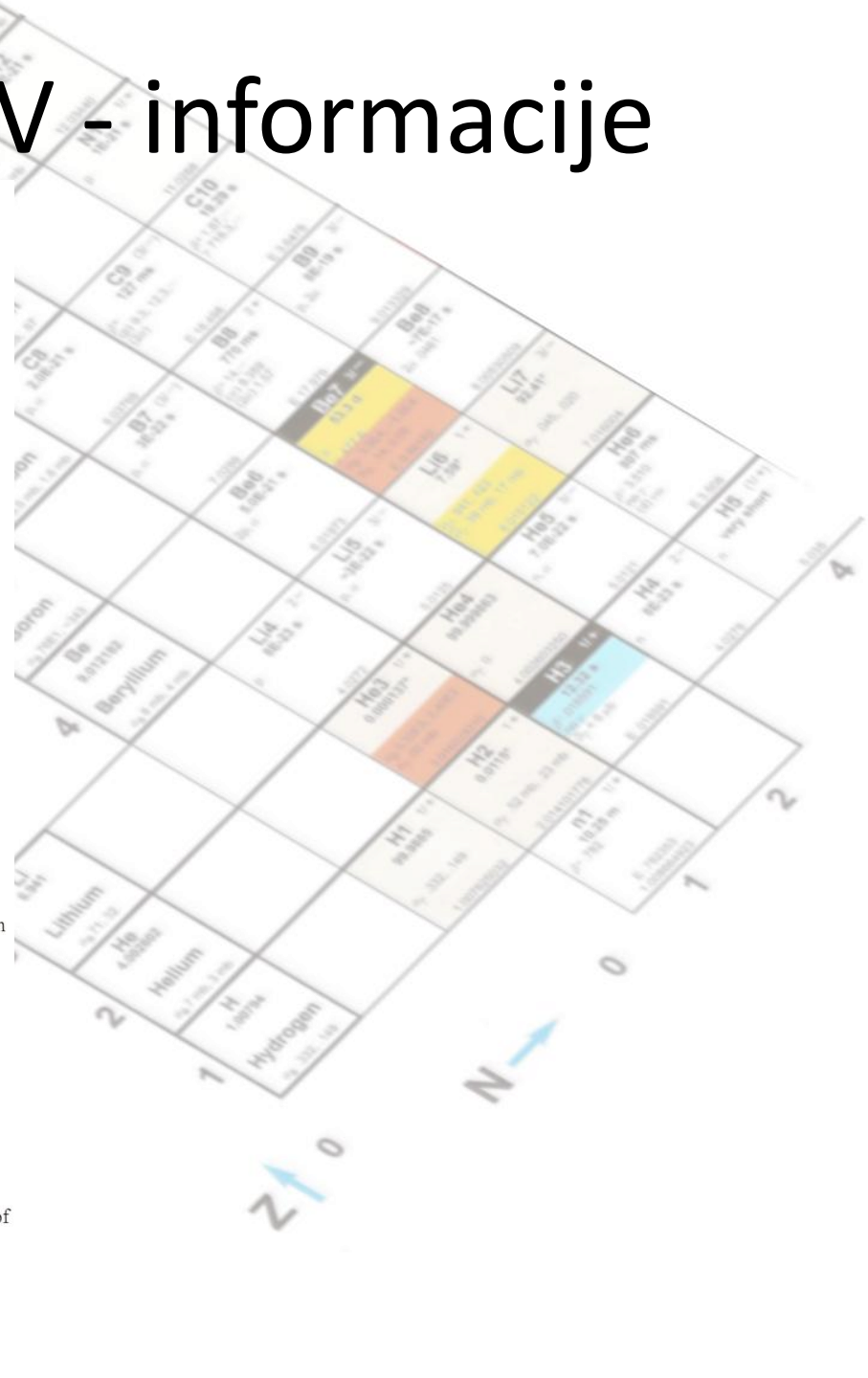


TABELA IZOTOPOV – jedrske reakcije

- iz tabele izotopov lahko razberemo, kateri izotopi nastajajo pri različnih jedrskih reakcijah



	($\alpha, 3n$)	($\alpha, 2n$) (${}^3\text{He}, n$)	(α, n)	
	(p,n)	(p, γ) (d,n) (${}^3\text{He}, np$)	(α, np) (t,n) (${}^3\text{He}, p$)	
	(p,pn) (γ, n) (n,2n)	Original Nucleus (n,n)	(d,p) (n, γ) (t,np)	(t,p)
(p, α)	(n,t) (γ, np) (n,nd)	(n,d) (γ, p) (n,np)	(n,p) (t, ${}^3\text{He}$)	
	(n, α) (n, $n{}^3\text{He}$)	(n, ${}^3\text{He}$) (n,pd)		

Primer reakcije:

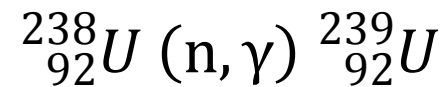
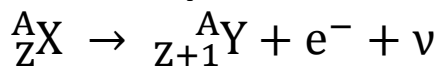


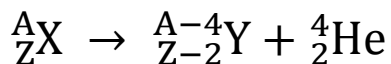
TABELA IZOTOPOV – jedrski razpadi

- iz tabele izotopov lahko razberemo, kateri potomec nastane pri določenem radioaktivnem razpadu oz. procesu nekega izotopa;

β^- :



α :



razpad uranove naravne vrste (izsek):

			${}^3\text{He}$ in	α in
	β^- out	p in	d in	t in
	n out	Original Nucleus	n in	
t out	d out	p out	β^+ out	ϵ
α out	${}^3\text{He}$ out			

n = neutron α = alpha particle
 p = proton β^- = beta minus (negative electron)
 d = deuteron β^+ = beta plus (positron)
 t = triton ϵ = electron capture

(18+) Po212 45 s α 11.65, ... γ 2614.4, 583.0 IT ~36 211.988852	Po213 $9/+$ 3.8 μs α 8.376, ... γ 778.8 ω 212.992843	Po214 RaC' 163.7 μs α 7.6869, ... γ 799 ω , ... 213.995186	Po215 $9/+$ AcA 1.781 ms α 7.386, ... γ 438.8 ω , ... $\beta^- \nu \omega$ 214.999415	Po216 ThA 0.145 s α 6.7785, ... γ 805 ω 216.001905
Bi211 $9/-$ AcC 2.14 m α 6.623, 6.279 γ 351.1 $\beta^- \omega$ 210.98726	(15-) Bi212 $1(-)$ 7 m ThC β^- 2.009 h γ 2.251, ... (9-) 25.0 m α 6.34, 6.30, ... β^- 39.9, ... E 2.254 (n) 211.991272	Bi213 $9/-$ 45.6 m β^- 1.42, 1.02, ... γ 440.5, ... α 5.87, 5.55 ω γ 323.7 ω E 1.43	Bi214 $1-$ RaC 19.9 m β^- 3.27, 1.54, 1.51, ... γ 609.3, 1764.5, 1120.3, ... α 5.450 (ω), 5.513, ... γ 63, ... E 3.27	Bi215 7.6 m β^- γ 293.7, ... E 2.3
Pb210 RaD 22.3 a β^- .017, .061 γ 46.5, e^- α 3.72 $\nu \omega$ $\sigma \gamma$ 0.5 E .0635	Pb211 $9/+$ AcB 36.1 m β^- 1.38, ... γ 404.9, 831.9, 427.0, ... E 1.37	Pb212 ThB 10.64 h β^- .335, .569, ... γ 238.6, 300.0, ... E .574	Pb213 ($9/+$) 10.2 m β^- E 2.0	Pb214 RaB 27 m β^- .67, .73, ... γ 351.9, 295.2, 242.0, ... E 1.02
Tl209 ($1/+$) 2.16 m β^- 1.8, ... γ 1567.0, 465.1, 117.2, ... E 3.98	Tl210 ($5/+$) RaC'' 1.30 m β^- 1.9, 1.3, 2.3, ... γ 799.7, 298, ... (n) E 5.49	Tl211	Tl212	132

TABELA IZOTOPOV – fisija

- V tabeli lahko razberemo v kakšnem deležu (fission yields) nastajajo izotopi pri fisiji ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu

Te133 <small>(11-)</small> 55.4 m β^- 2.4, ... γ 912.7, 647.5, 864.0, ... IT 334.2 E 2.9	Te134 42 m β^- 6.7, ... γ 787.2, 210.5, 277.9, 79.5, ... E 1.51	Te135 <small>(7-)</small> 19.0 s β^- 6.0, 9.4, ... γ 603.5, 266.8, 870.3, ... E 6.0	Te136 17.5 s β^- 2.5, ... γ 2078.0, 334.0, 578.8, ... (n) 429, ... E 5.1	Te137 <small>(7-)</small> 2.5 s β^- 6.8, ... γ 243.3, 554.0, 469.1, 358.6, ... (n) E 6.0	Te138 1.4 s β^- (n) E 6.4	Te139 E 6.0	Te140 E 7
Sb132 <small>(8-)</small> 4.2 m β^- 3.9, ... γ 973.9, 696.8, 150.6, ... E 5.49	Sb133 <small>(7+)</small> 2.5 m β^- 1.20, ... γ 1096.2, 2755, 863.9, 2416, ... E 4.00	Sb134 <small>(0-)</small> 10.4 s β^- 6.1, ... γ 1297.4, 2631.5, 297.1, 706.3, 115.2, ... (n) ω E 8.39	Sb135 <small>(7+)</small> 1.71 s β^- 8.4, ... γ 1127, 1380, ... (n) 1.458, 1.042, 1.201, ... γ 1279 E 8.1	Sb136 0.92 s β^- 6.8, ... γ 606.6, 961.7, 658.5, ... E 9.8	Sb137 ~ 0.9 s β^- (n) E 9.3	Sb138 E 11	Sb139 E 10
Sn131 <small>(11-)</small> 58.4 s β^- 3.4, ... γ 1226.0, 450.0, 798.5, ... E 4.69	Sn132 39.7 s β^- 1.76 γ 85.6, 340.5, 248.9, 890.0, 892.7, ... E 3.11	Sn133 <small>(7-)</small> 1.44 s β^- 7.5, 6.9, ... γ 962.2, ... (n) ω E 7.99	Sn134 1.04 s β^- 8.2, ... γ 872, 317, 554, ... (n) .32 - 1.02 E 7.4	Sn135 0.53 s β^- 8.1, ... γ 281.7, 732.4, 923.4, 317.8, ... (n) E 8.9	Sn136 0.26 s β^- (n) E 8	Sn137 0.24 s β^- (n) E 10	88 6.77
In130 <small>(5+)</small> 0.53 s β^- 8.8, ... γ 1221.2, ... (n) E 10.25	In131 <small>(9+)</small> 0.3 s β^- 6.1, ... γ 4273.2, ... (n) ω E 9.17	In132 <small>(7-)</small> 0.20 s β^- 6.0, 8.8, ... γ 375, 4041, 299, ... (n) E 14.1	In133 165 ms β^- 6.7, ... γ 1561 ω (n) E 13.5	In134 0.14 s β^- 8.1, ... γ 1561 (n) E 15	In135 0.09 s β^- (n) E 8	86 6.32	86 7.87
Cd129 0.27 s β^- 281 γ E 9.9	Cd130 0.16 s β^- 1395 (n) E 8.5	Cd131 68 ms β^- (n) E 14.1	Cd132 0.01 s β^- (n) E 13.5	86 6.70	86 7.87	86 6.54	86 7.87
Ag128 0.06 s β^- 645, 784 γ E 9.9	Ag129 0.05 s β^- (n) E 8.5	84 1.81	84 2.89	84 4.31	84 1.81	84 2.89	84 4.31
82 0.157	82 0.35	82 0.54	82 0.157	82 0.35	82 0.54	82 0.157	82 0.35
Te141 E 9	Te142 E 8	90 5.8	90 5.8	90 5.8	90 5.8	90 5.8	90 5.8

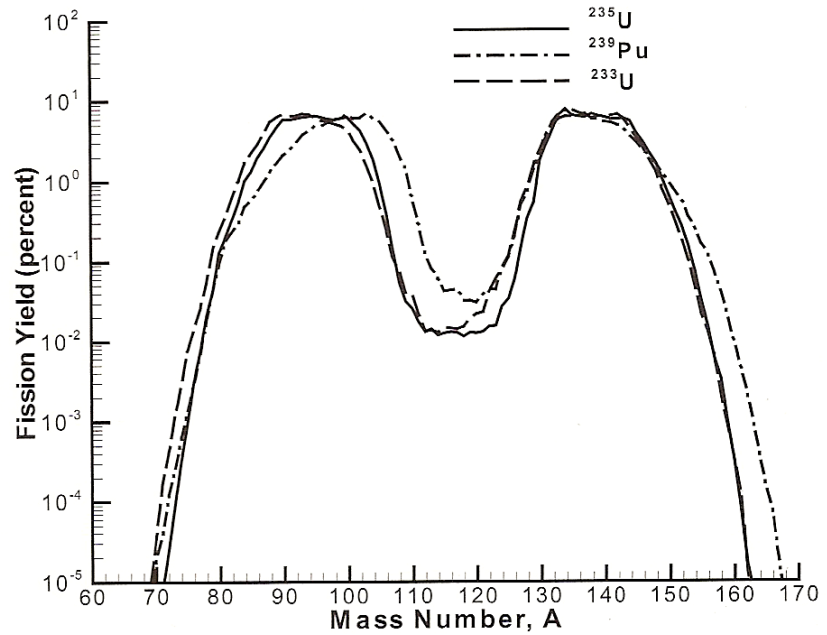


TABELA IZOTOPOV - zaključek

- Več vrst tabel izotopov, tiskanih in spletnih (interaktivnih), ki se med seboj razlikujejo predvsem po obliki (barvne lestvice, osi so obrnjene...). Vsebinsko se ne razlikujejo, nekatere bolj podrobne od drugih:
 - Karlsruhe Nuclide Chart, Karlsruhe Institute of Technology
 - National Nuclear Data center, BNL; <http://www.nndc.bnl.gov/chart/>
 - Wikipedia; [http://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_nuclides_\(complete\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_nuclides_(complete))
 - Nuclear Data Center at Japan Atomic Energy Agency; <http://wwwndc.jaea.go.jp/CN10/>
 - IAEA, Nuclear Data Service; <http://www-nds.iaea.org/relnsd/vchart/index.html>