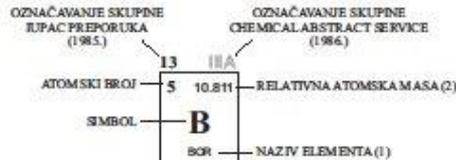


Svijet sadrži atome samo stotinjak elemenata...

PERIODNI SUSTAV ELEMENATA

<http://www.kf-split.hr/periodni/>

PERIODA	1 IA	2 IIA	3-10										11 IIIA	12 IIIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA																		
1	1 1.0079 H VODIK														5 10.811 B BOR	6 12.011 C UGLJIK	7 14.007 N DUŠIK	8 15.999 O KISIK	9 18.998 F FLUOR	10 20.180 Ne HELIJ																		
2	3 6.941 Li LITIJ	4 9.0122 Be BERILIJ													13 26.982 Al ALUMINIJ	14 28.086 Si SILICIJ	15 30.974 P FOSFOR	16 32.065 S SUMPOR	17 35.453 Cl KLOOR	18 39.948 Ar ARGON																		
3	11 22.990 Na NATRIJ	12 24.305 Mg MAGNEZIJ	13 26.982 Al ALUMINIJ	14 28.086 Si SILICIJ	15 30.974 P FOSFOR	16 32.065 S SUMPOR	17 35.453 Cl KLOOR	18 39.948 Ar ARGON	19 39.098 K KALIJ	20 40.078 Ca KALCIJ	21 44.956 Sc SKANDIJ	22 47.867 Ti TITANIJ	23 50.942 V VANADIJ	24 51.996 Cr KROM	25 54.938 Mn MANGAN	26 55.845 Fe ŽELJEZO	27 58.933 Co KOBALT	28 58.933 Ni NIKAL	29 63.546 Cu BAKAR	30 65.39 Zn CINK	31 69.723 Ga GALIJ	32 72.64 Ge GERMANIJ	33 74.922 As ARSEN	34 78.96 Se SELENIJ	35 79.904 Br BROM	36 83.80 Kr KRIPTON												
4	37 85.468 Rb RUBIDIJ	38 87.62 Sr STRONCIJ	39 88.906 Y ITRIJ	40 91.224 Zr CIRKONIJ	41 92.906 Nb NIobilj	42 95.94 Mo MOLIBDEN	43 (98) Tc TEHNECIJ	44 101.07 Ru RUTENIJ	45 102.91 Rh RODIJ	46 106.42 Pd PALADIJ	47 107.87 Ag SREBRO	48 112.41 Cd KADMIJ	49 114.82 In INDIJ	50 118.71 Sn KOSITAR	51 121.76 Sb ANTIMON	52 127.60 Te TELURIJ	53 126.90 I JOD	54 131.29 Xe KSENON	55 132.91 Cs CEZIJ	56 137.33 Ba BARIJ	57-71 La-Lu Lantanoidi	72 178.49 Hf HAFNIJ	73 180.95 Ta TANTAL	74 183.84 W VOLFRAM	75 186.21 Re RENIJ	76 190.23 Os OSMIJ	77 192.22 Ir IRIDIJ	78 195.08 Pt PLATINA	79 196.97 Au ZLATO	80 200.59 Hg ŽIVA	81 204.38 Tl TALIJ	82 207.2 Pb OLOVO	83 208.98 Bi BIZMUT	84 (209) Po POLONIJ	85 (210) At ASTAT	86 (222) Rn RADON		
5	87 (223) Fr FRANCIJ	88 (226) Ra RADIJ	89-103 Ac-Lr Aktinoidi	104 (261) Rf RUTHERFORDIJ	105 (262) Db DUBNIJ	106 (268) Sg SEABORGIJ	107 (264) Bh BOHRIJ	108 (277) Hs HASSIJ	109 (268) Mt MEITNERIJ	110 (281) Ds DARMŠTADIJ	111 (272) Uuu UNUNIJ	112 (285) Uub UNUNIJ	113 (284) Uuq UNUNIJ	114 (289) Uuq UNUNIJ	115 (288) Uuq UNUNIJ	116 (289) Uuq UNUNIJ	117 (289) Uuq UNUNIJ	118 (289) Uuq UNUNIJ	119 (289) Uuq UNUNIJ	120 (289) Uuq UNUNIJ	121 (289) Uuq UNUNIJ	122 (289) Uuq UNUNIJ	123 (289) Uuq UNUNIJ	124 (289) Uuq UNUNIJ	125 (289) Uuq UNUNIJ	126 (289) Uuq UNUNIJ	127 (289) Uuq UNUNIJ	128 (289) Uuq UNUNIJ	129 (289) Uuq UNUNIJ	130 (289) Uuq UNUNIJ	131 (289) Uuq UNUNIJ	132 (289) Uuq UNUNIJ	133 (289) Uuq UNUNIJ	134 (289) Uuq UNUNIJ	135 (289) Uuq UNUNIJ	136 (289) Uuq UNUNIJ	137 (289) Uuq UNUNIJ	138 (289) Uuq UNUNIJ



(1) Hrvatska nomenklatura anorganske kemije
Školska knjiga - Zagreb, 1998.
Imena elemenata od broja 104 do 109 prema
Pure Appl. Chem., 60, 2471-2473 (1997).

(2) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 687-693 (2001)
Relativne atomske mase su zračnubene na pet
značajnih znamenki. Za elemente koji nemaju
stabilnih nuklida u zagnatim je dan maseni
broj najduže živećeg izotopa.

Urednik: Eri Gavrančić (eri@kf-split.hr)

Copyright © 1998-2002 Enki (eri@kf-split.hr)

Lantanoidi														
57 138.91 La LANTAN	58 140.12 Ce CERIJ	59 140.91 Pr PRASEODIMIJ	60 144.24 Nd NEODIMIJ	61 (145) Pm PROMETIJ	62 150.36 Sm SAMARIJ	63 151.96 Eu EUROPIJ	64 157.25 Gd GADOLINIJ	65 158.93 Tb TERBIJ	66 162.50 Dy DISPROZIJ	67 164.93 Ho HOLMIJ	68 167.26 Er ERBIJ	69 168.93 Tm TULIJ	70 173.04 Yb ITERBIJ	71 174.97 Lu LUTECIJ
Aktinoidi														
89 (227) Ac AKTINIJ	90 232.04 Th TORIJ	91 231.04 Pa PROTAKTINIJ	92 238.03 U URANIJ	93 (237) Np NEPTUNIJ	94 (244) Pu PLUTONIJ	95 (243) Am AMERICIJ	96 (247) Cm KURIJ	97 (247) Bk BERKELIJ	98 (251) Cf KALIFORNIJ	99 (252) Es EINSTEINIJ	100 (257) Fm FERMIJ	101 (258) Md MENDELEVIJ	102 (259) No NOBELIJ	103 (262) Lr LAHRENCIJ

Elementi, izotopi

Kako su nastali?

Kako se ponašaju
radioaktivni
izotopi?

Zašto smo
okruženi
uglavnom
stabilnim
izotopima?

Za što se sve
koriste različiti
izotopi?

Koncept raspada na manje apstraktnom primjeru... kuhinja



Nakon stotinjak godina ostali su stol i zidovi...



Ponedjeljak, 21.3.2016. - Milivoj Uroić,
Radionica IRB

Nakon 2000 godina ostaje samo kamen...



...na temelju nađenih objekata možemo odrediti (procijeniti) starost

...pri tom moramo poznavati vijek trajanja objekata koje nalazimo

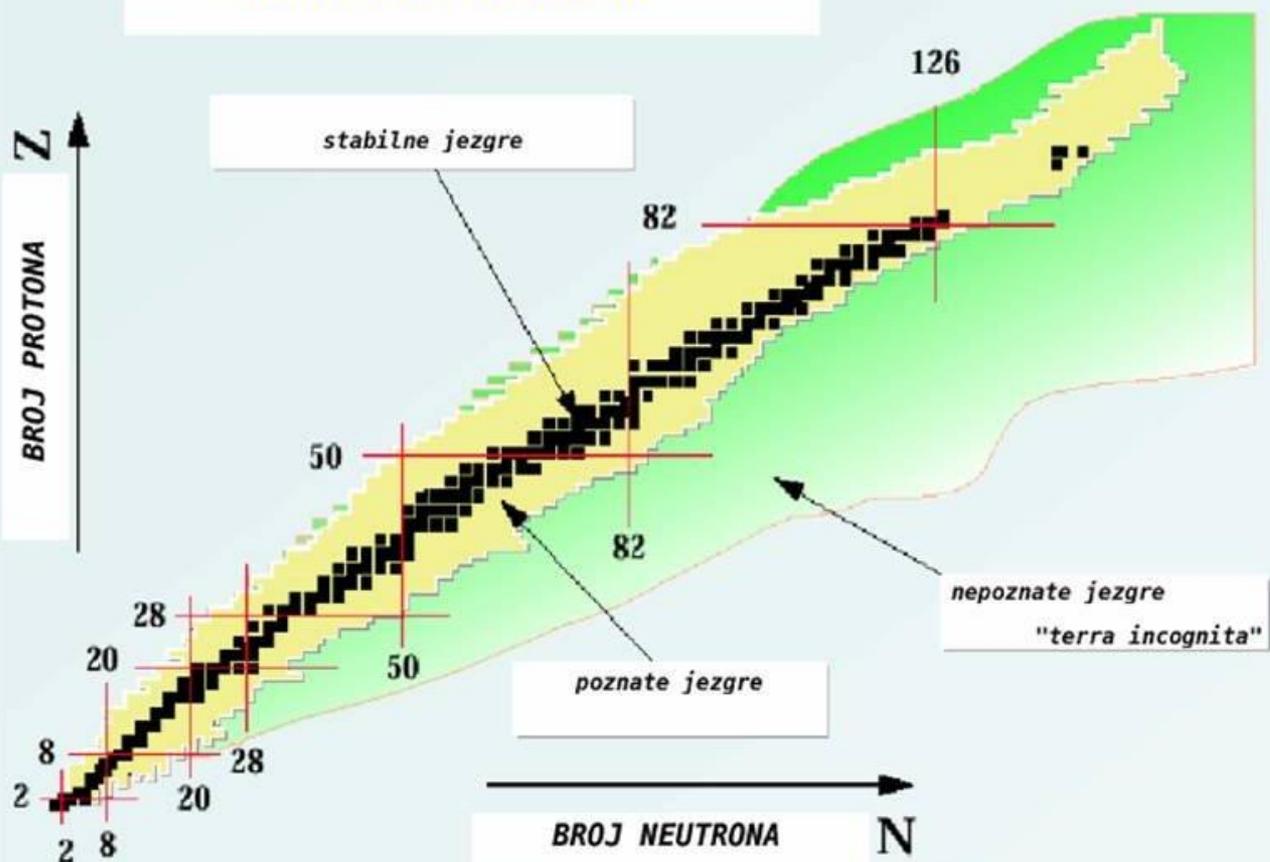
Radioizotopi kemijskih elemenata su IDEALNI mjerači vremena, imaju vijek trajanja i matematički predvidljiv vremenski tijek raspada...

Pogledajmo pobliže elemente i izotope:

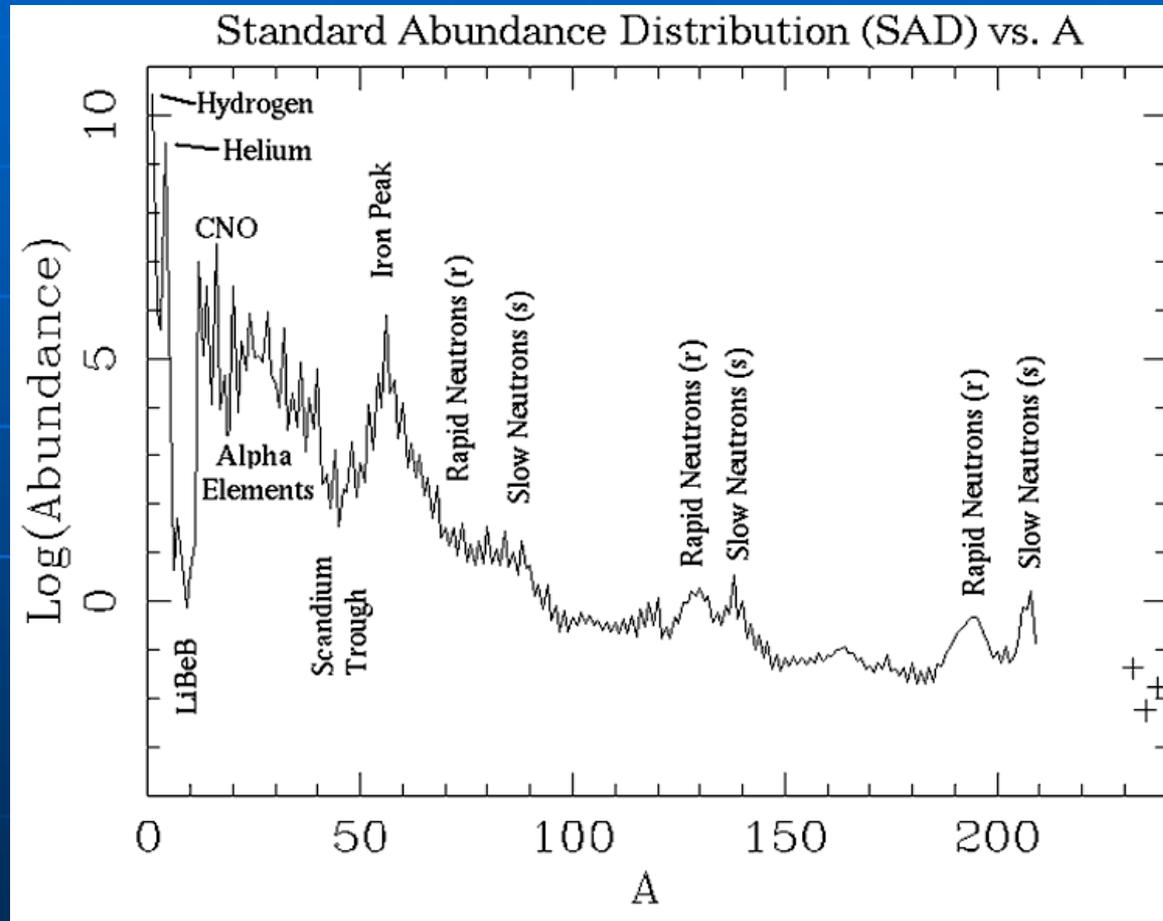
81 element ima ukupno 263 stabilna izotopa.
Ostali su RADIOAKTIVNI i imaju vrijeme
(polu)raspada.

[wikipedija](https://hr.wikipedia.org)

ZEMLJOVID JEZGARA



Zastupljenost težina atoma (Sunčev sustav)



Pogledajmo detalje zemljovid jezgara...npr. kisik

		14F	15F 1.0 MeV	16F 40 KeV	17F 64.49 S	18F 1.8291 H	19F STABLE 100%	20F 11.07 S	
		P	P: 100.00%	P: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%		β-: 100.00%	
	12O 0.40 MeV	13O 8.58 MS	14O 70.606 S	15O 122.24 S	16O STABLE 99.762%	17O STABLE 0.038%	18O STABLE 0.200%	19O 26.88 S	
	P	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%				β-: 100.00%	
10N	11N 1.58 MeV	12N 11.000 MS	13N 9.965 M	14N STABLE 99.634%	15N STABLE 0.366%	16N 7.13 S	17N 4.173 S	18N 624 MS	
P: 100.00%	P: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%			β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	
						β-α: 1.2E-3%	β-n: 95.1%	β-n: 14.30%	
9C	10C 19.290 S	11C 20.334 M	12C STABLE 98.89%	13C STABLE 1.11%	14C 5700 Y	15C 2.449 S	16C 0.747 S	17C 193 MS	
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%			β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	
ε: 61.60%							β-n: 99.00%	β-n: 32.00%	
8B	9B 0.54 KeV	10B STABLE 19.8%	11B STABLE 80.2%	12B 20.20 MS	13B 17.33 MS	14B 12.5 MS	15B 9.93 MS	16B <190 PS	
εα: 100.00%	2α: 100.00%			β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	N	
ε: 100.00%	P: 100.00%			B3Δ: 1.58%		β-n: 6.04%	β-n: 93.60%		
									16 VIA 17 VIIA
									8 15.999 9 18.998
									N O F
									DUŠIK KISIK FLUOR
									15 30.974 16 32.065 17 35.453

Element tehnecij nema stabilnih izotopa...

96Pd 122 S ε: 100.00%	97Pd 3.10 M ε: 100.00%	98Pd 17.7 M ε: 100.00%	99Pd 21.4 M ε: 100.00%	100Pd 3.63 D ε: 100.00%	101Pd 8.47 H ε: 100.00%	102Pd STABLE 1.02%	103Pd 16.991 D ε: 100.00%	104Pd STABLE 11.14%	105Pd STABLE 22.33%	106Pd STABLE 27.33%
95Rh 5.02 M ε: 100.00%	96Rh 9.90 M ε: 100.00%	97Rh 30.7 M ε: 100.00%	98Rh 8.72 M ε: 100.00%	99Rh 16.1 D ε: 100.00%	100Rh 20.8 H ε: 100.00%	101Rh 3.3 Y ε: 100.00%	102Rh 207 D ε: 78.00% β-: 22.00%	103Rh STABLE 100%	104Rh 42.3 S β-: 99.55% ε: 0.45%	105Rh 35.36 H β-: 100.00%
94Ru 51.8 M ε: 100.00%	95Ru 1.643 H ε: 100.00%	96Ru STABLE 5.54%	97Ru 2.791 D ε: 100.00%	98Ru STABLE 1.87%	99Ru STABLE 12.76%	100Ru STABLE 12.60%	101Ru STABLE 17.06%	102Ru STABLE 31.55%	103Ru 39.26 D β-: 100.00%	104Ru STABLE 18.62%
93Tc 2.75 H ε: 100.00%	94Tc 293 M ε: 100.00%	95Tc 20.0 H ε: 100.00%	96Tc 4.28 D ε: 100.00%	97Tc 4.21E+6 Y ε: 100.00%	98Tc 4.2E+6 Y β-: 100.00%	99Tc 2.111E+5 Y β-: 100.00%	100Tc 15.46 S β-: 100.00% ε: 1.8E-3%	101Tc 14.22 M β-: 100.00%	102Tc 5.28 S β-: 100.00%	103Tc 54.2 S β-: 100.00%
92Mo STABLE 14.84%	93Mo 4.0E+3 Y ε: 100.00%	94Mo STABLE 9.25%	95Mo STABLE 15.92%	96Mo STABLE 16.68%	97Mo STABLE 9.55%	98Mo STABLE 24.13%	99Mo 2.7489 D β-: 100.00%	100Mo 7.3E+18 Y 9.63% 2β-: 100.00%	101Mo 14.61 M β-: 100.00%	102Mo 11.3 M β-: 100.00%
91Nb 6.8E+2 Y ε: 100.00%	92Nb 3.47E+7 Y ε: 100.00% β- < 0.05%	93Nb STABLE 100%	94Nb 2.03E+4 Y β-: 100.00%	95Nb 34.991 D β-: 100.00%	96Nb 23.35 H β-: 100.00%	97Nb 72.1 M β-: 100.00%	98Nb 2.86 S β-: 100.00%	99Nb 15.0 S β-: 100.00%	100Nb 1.5 S β-: 100.00%	101Nb 7.1 S β-: 100.00%

Zlato ima jedan stabilan izotop...

196Pb 37 M	197Pb 8.1 M	198Pb 2.4 H	199Pb 90 M	200Pb 21.5 H	201Pb 9.33 H	202Pb 52.5E+3 Y	203Pb 51.92 H	204Pb ≥1.4E+17 Y 1.4% α	205Pb 1.73E+7 Y	206Pb STABLE 24.1%
ε: 100.00% α: 3.0E-5%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% α: < 1.00%	ε: 100.00%		ε: 100.00%	
195Tl 1.16 H	196Tl 1.84 H	197Tl 2.84 H	198Tl 5.3 H	199Tl 7.42 H	200Tl 26.1 H	201Tl 3.0421 D	202Tl 12.23 D	203Tl STABLE 29.524%	204Tl 3.78 Y	205Tl STABLE 70.476%
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%		β-: 97.10% ε: 2.90%	
194Hg 444 Y	195Hg 10.53 H	196Hg STABLE 0.15%	197Hg 64.14 H	198Hg STABLE 9.97%	199Hg STABLE 16.87%	200Hg STABLE 23.10%	201Hg STABLE 13.18%	202Hg STABLE 29.86%	203Hg 46.594 D	204Hg STABLE 6.87%
ε: 100.00%	ε: 100.00%		ε: 100.00%						β-: 100.00%	
193Au 17.65 H	194Au 38.02 H	195Au 186.098 D	196Au 6.1669 D	197Au STABLE 100%	198Au 2.6956 D	199Au 3.139 D	200Au 48.4 M	201Au 26.0 M	202Au 28.8 S	203Au 60 S
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 93.00% β-: 7.00%		β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
192Pt STABLE 0.782%	193Pt 50 Y	194Pt STABLE 32.967%	195Pt STABLE 33.832%	196Pt STABLE 25.242%	197Pt 19.8915 H	198Pt STABLE 7.163%	199Pt 30.80 M	200Pt 12.6 H	201Pt 2.5 M	202Pt 44 H
	ε: 100.00%				β-: 100.00%		β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
191Ir STABLE 37.3%	192Ir 73.827 D	193Ir STABLE 62.7%	194Ir 19.28 H	195Ir 2.5 H	196Ir 52 S	197Ir 5.8 M	198Ir 8 S	199Ir		
	β-: 95.13% ε: 4.87%		β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-		

Zlato in

¹⁹⁶ Pb 37 M	¹⁹⁷ Pb 8.1 M	¹⁹⁸ Pb 2.4 H
$\epsilon \approx 100.00\%$ $\alpha \leq 3.0E-5\%$	$\epsilon: 100.00\%$	$\epsilon: 100.00\%$
¹⁹⁵ Tl 1.16 H	¹⁹⁶ Tl 1.84 H	¹⁹⁷ Tl 2.84 H
$\epsilon: 100.00\%$	$\epsilon: 100.00\%$	$\epsilon: 100.00\%$
¹⁹⁴ Hg 444 Y	¹⁹⁵ Hg 10.53 H	¹⁹⁶ Hg STABLE 0.15%
$\epsilon: 100.00\%$	$\epsilon: 100.00\%$	
¹⁹³ Au 17.65 H	¹⁹⁴ Au 38.02 H	¹⁹⁵ Au 186.098 D
$\epsilon: 100.00\%$	$\epsilon: 100.00\%$	$\epsilon: 100.00\%$
¹⁹² Pt STABLE 0.782%	¹⁹³ Pt 50 Y	¹⁹⁴ Pt STABLE 32.967%
	$\epsilon: 100.00\%$	
¹⁹¹ Ir STABLE 37.3%	¹⁹² Ir 73.827 D	¹⁹³ Ir STABLE 62.7%
	$\beta^-: 95.13\%$ $\epsilon: 4.87\%$	

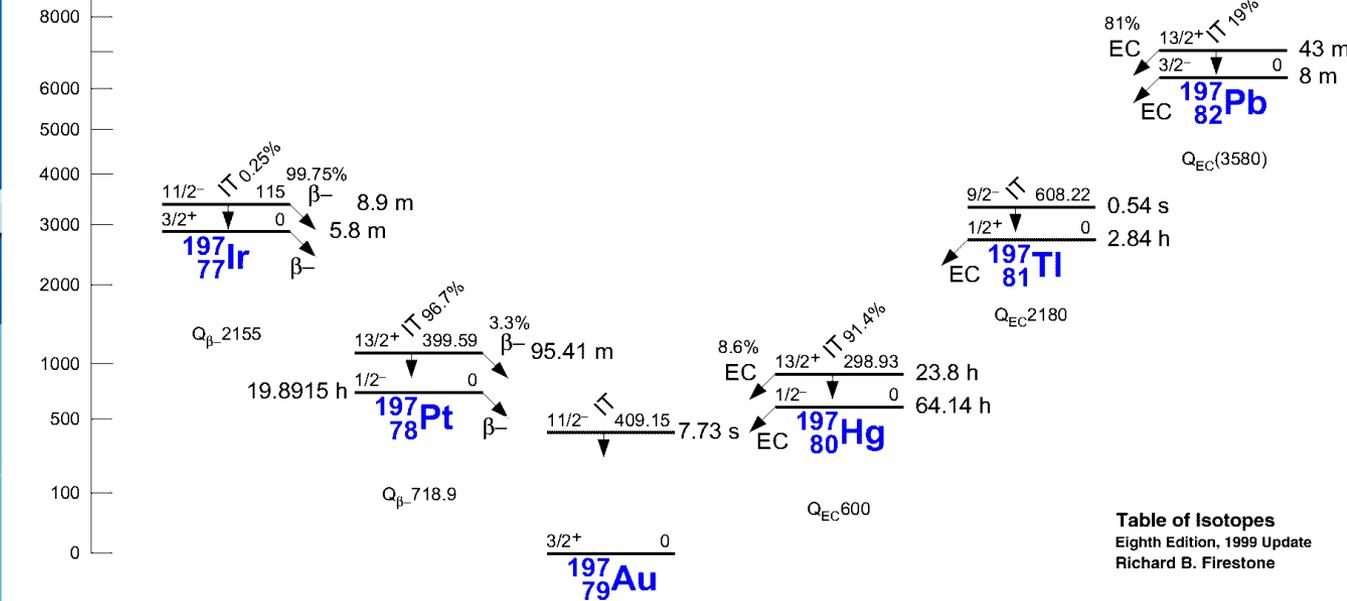


Table of Isotopes
Eighth Edition, 1999 Update
Richard B. Firestone

Uran nema stabilnih izotopa...

233Pu 20.9 M ϵ : 99.88% α : 0.12%	234Pu 8.8 H ϵ : 94.00% α : 6.00%	235Pu 25.3 M ϵ : 100.00% α : 2.8E-3%	236Pu 2.858 Y α : 100.00% SF: 1.9E-7%	237Pu 45.2 D ϵ : 100.00% α : 4.2E-3%	238Pu 87.7 Y α : 100.00% SF: 1.9E-7%	239Pu 24110 Y α : 100.00% SF: 3.E-10%	240Pu 6561 Y α : 100.00% SF: 5.7E-6%	241Pu 14.290 Y β^- : 100.00% α : 2.5E-3%	242Pu 3.75E+5 Y α : 100.00% SF: 5.5E-4%
232Np 14.7 M ϵ : 100.00% α : 2.0E-4%	233Np 36.2 M ϵ : 100.00% α : 1.0E-3%	234Np 4.4 D ϵ : 100.00%	235Np 396.1 D ϵ : 100.00% α : 2.6E-3%	236Np 153E+3 Y ϵ : 86.30% β^- : 13.50%	237Np 2.144E+6 Y α : 100.00% SF: 2E-10%	238Np 2.117 D β^- : 100.00%	239Np 2.356 D β^- : 100.00%	240Np 61.9 M β^- : 100.00%	241Np 13.9 M β^- : 100.00%
231U 4.2 D ϵ : 100.00% α : 4.0E-3%	232U 68.9 Y α : 100.00% SF: 9E-20%	233U 1.592E+5 Y α : 100.00% SF: < 6.0E-9%	234U 2.455E+5 Y 0.0054% α : 100.00% SF: 1.6E-9%	235U 7.04E+8 Y 0.7204% α : 100.00% SF: 7.0E-9%	236U 2.342E7 Y α : 100.00% SF: 9.4E-8%	237U 6.75 D β^- : 100.00%	238U 4.468E9 Y 99.2742% α : 100.00% SF: 5.5E-5%	239U 23.45 M β^- : 100.00%	240U 14.1 H β^- : 100.00%
230Pa 17.4 D ϵ : 92.20% β^- : 7.80%	231Pa 3.276E+4 Y α : 100.00% SF: 3E-10%	232Pa 1.32 D β^- : 100.00% ϵ : 3.0E-3%	233Pa 26.975 D β^- : 100.00%	234Pa 6.70 H β^- : 100.00%	235Pa 24.44 M β^- : 100.00%	236Pa 9.1 M β^- : 100.00%	237Pa 8.7 M β^- : 100.00%	238Pa 2.27 M β^- : 100.00% SF: < 2.6E-6%	239Pa 1.8 H β^- : 100.00%
229Th 7340 Y α : 100.00%	230Th 7.54E+4 Y α : 100.00% 24Ne: 6E-11%	231Th 25.52 H β^- : 100.00% α : 4E-11%	232Th 1.40E10 Y 100% α : 100.00% SF: 1.1E-9%	233Th 21.83 M β^- : 100.00%	234Th 24.10 D β^- : 100.00%	235Th 7.2 M β^- : 100.00%	236Th 37.3 M β^- : 100.00%	237Th 4.7 M β^- : 100.00%	238Th 9.4 M β^- : 100.00%

...ali ima dva izotopa koji žive toliko dugo da su tu OD NASTANKA ZEMLJE!

- U prirodi nalazimo SVE stabilne izotope, pa znamo da su nastali i radioaktivni, ali su se u međuvremenu uglavnom raspali u stabilne
- Ostaci radioaktivnog raspada nam daju uvid u trenutak nastanka ili grupiranja atoma u nekom uzorku
- Tek je nuklearna fizika dala metode određivanja starosti Zemlje i geoloških epoha

Matematički kutak:

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \cdot \frac{\ln(2)}{T}$$

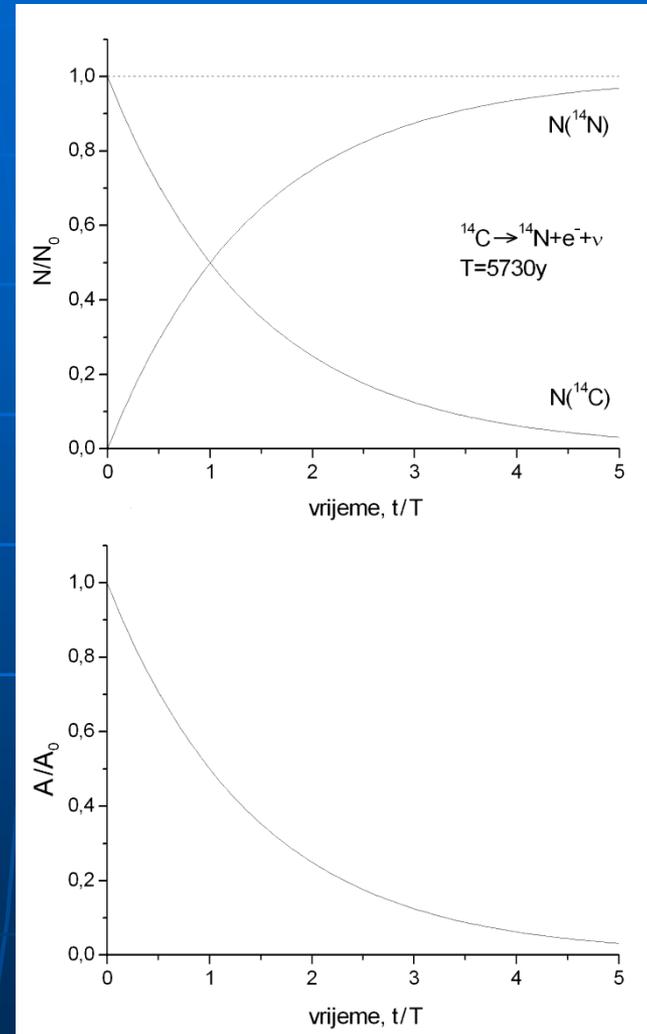
$$A = \frac{N \cdot \ln(2)}{T}$$

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A$$

T – vrijeme poluraspada

N – broj atoma

A – aktivnost, broj raspada u sekundi



Krive predodžbe o radioaktivnosti

- Radioaktivnost je isključivo produkt ljudske djelatnosti
- Radioaktivnost postoji u prirodnom materijalu. Većina kratkoživućih izotopa nije u prirodi prisutna zato što su se (davno) raspali

Krive predodžbe o radioaktivnosti

- Radioaktivni se atomi raspadaju na sastavne dijelove
- Raspadi atoma se odvijaju prema stanju niže energije, što uglavnom rezultira stabilnim atomom drugog kem. elementa istog masenog broja

Krive predodžbe o radioaktivnosti

- Radioaktivni npr. ugljik se kemijski ponaša drukčije od "normalnog" ugljika
- Izotopi nekog elementa kemijski se ponašaju jednako, bez obzira jesu li stabilni ili radioaktivni. Radioizotop se lakše detektira, upravo zbog svog raspada.

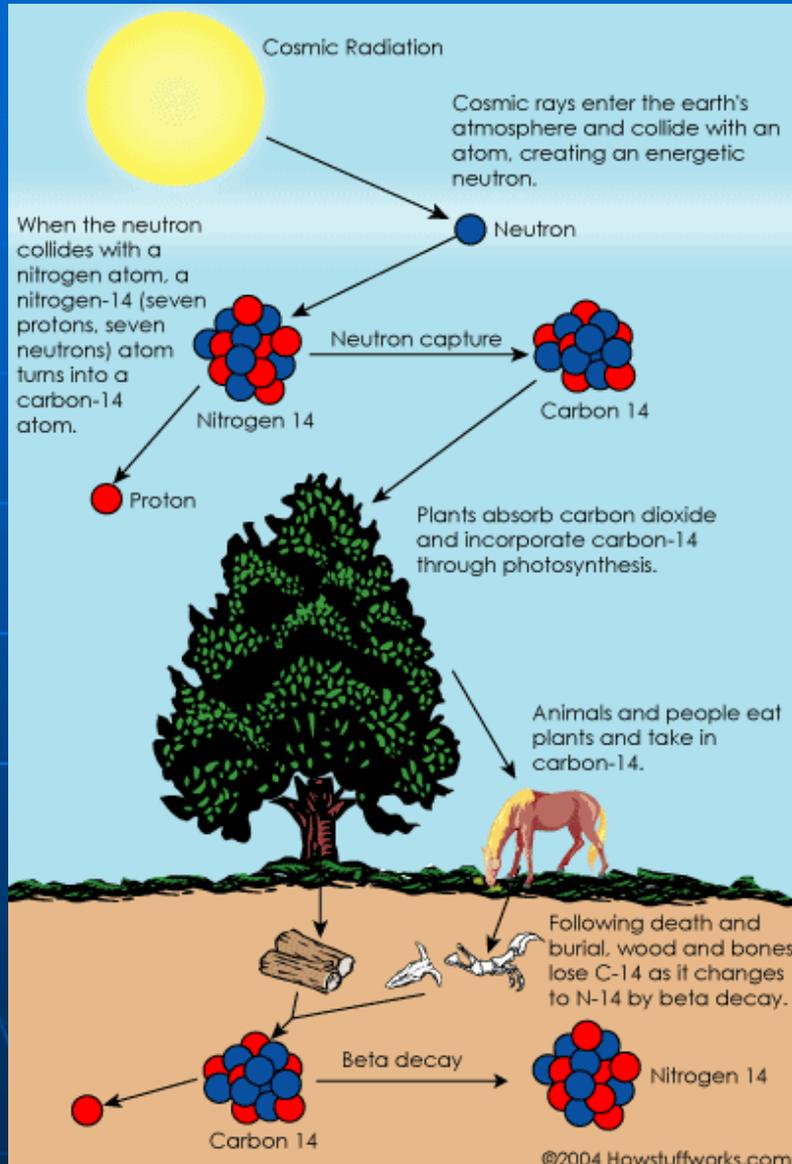
Krive predodžbe o radioaktivnosti

- Mjerenje dugog vremena poluraspada ne može biti precizno ako za radioaktivnost znamo tek stotinjak godina
- Mjerenjem aktivnosti i mase, vrijeme poluraspada se svodi na poznavanje Avogadrove konstante. Omjer broja raspada i ukupnog broja atoma može biti toliko velik da u sekundi određuje vrlo duga vremena poluraspada

Krive predodžbe o radioaktivnosti

- Kad prođe dovoljno vremena, u radioaktivnom uzorku su drukčiji atomi
- Raspadom radioizotopa nastaju jezgre-kćerke, a neraspadnuti atomi su identični onima na početku tj. nisu "ostarili"

Datiranje pomoću ^{14}C (T=5730 godina)



Stabilni izotopi kisika u fotosintezi

■ Fotosinteza:



U ranim fazama istraživanja postavilo se pitanje potječe li nastali kisik iz vode ili ugljik dioksida?

H_2^{18}O stvara kisik bogat izotopom ^{18}O

C^{18}O_2 stvara "običan" kisik

Slijedi da kisik dolazi iz vode, što daje uvid u redoslijed