

# Mjerenje vremena polurasapda neparno-neparnih jezgara bogatih protonima

---

GIOVANNI URSI

MENTOR: DR.SC. MILIVOJ UROIĆ, IRB



# Radioaktivni raspad

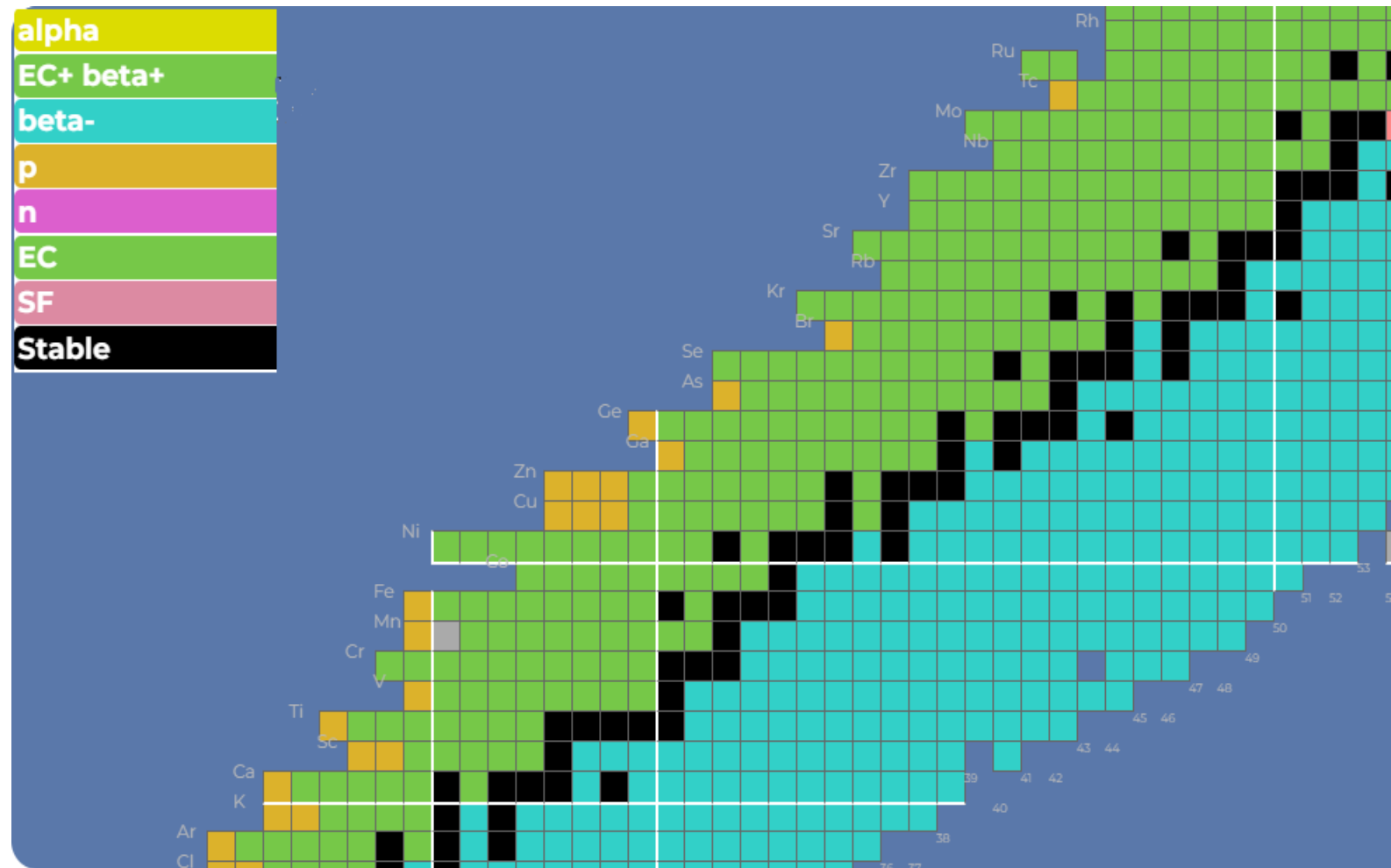
Nestabilne jezgre emitiraju čestice ili EM zračenje

Stabilne jezgre imaju  $N \approx Z$

Neparno-neparne jezgre su nestabilnije

Jezgre bogate neutronima:  $\beta^-$  raspad

Jezgre bogate protonima:  $\beta^+$  raspad ili uhvat elektrona (EC)



# Radioaktivni raspad

Vjerojatnost raspada jezgre je konstantna u vremenu – broj raspada je proporcionalan broju atoma

Zakon radioaktivnog raspada  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

Aktivnost uzorka  $A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$

Vrijeme poluraspada (poluživota)  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

# Neutronska aktivacija

Induciranje radioaktivnosti bombardiranjem česticama, tipično neutronima

Prednost: nema EM interakcije s jezgrom

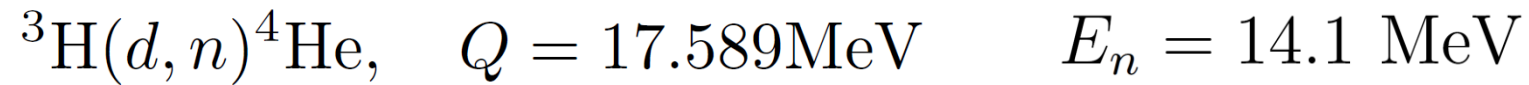
Izvori neutrona:

- nestabilne jezgre, npr.  $^{252}\text{Cf}$
- akceleratori

Termalizirani neutroni:  $E_k \approx 0.025$  eV induciraju (n, $\alpha$ ) ili (n, $\gamma$ ) reakcije

Brzi neutroni:  $500 \text{ keV} < E_k < 20 \text{ MeV}$  induciraju (n,2n), (n,p), (n, $\alpha$ ) reakcije

# D-T reakcija



Nastali neutroni su monoenergetski i izotropni

Rezonancija reakcije za  $E_d = 108 \text{ keV}$  ( $\sigma = 5 \text{ b}$ )

*D-T* generator : HV transformator (do 300 kV) + akceleratorna cijev

Ionizacija deuterija RF oscilatorom i ubrzanje električnim poljem

# Eksperimentalni postav

Vakuumski sustav: predpumpa + turbomolekularna pumpa

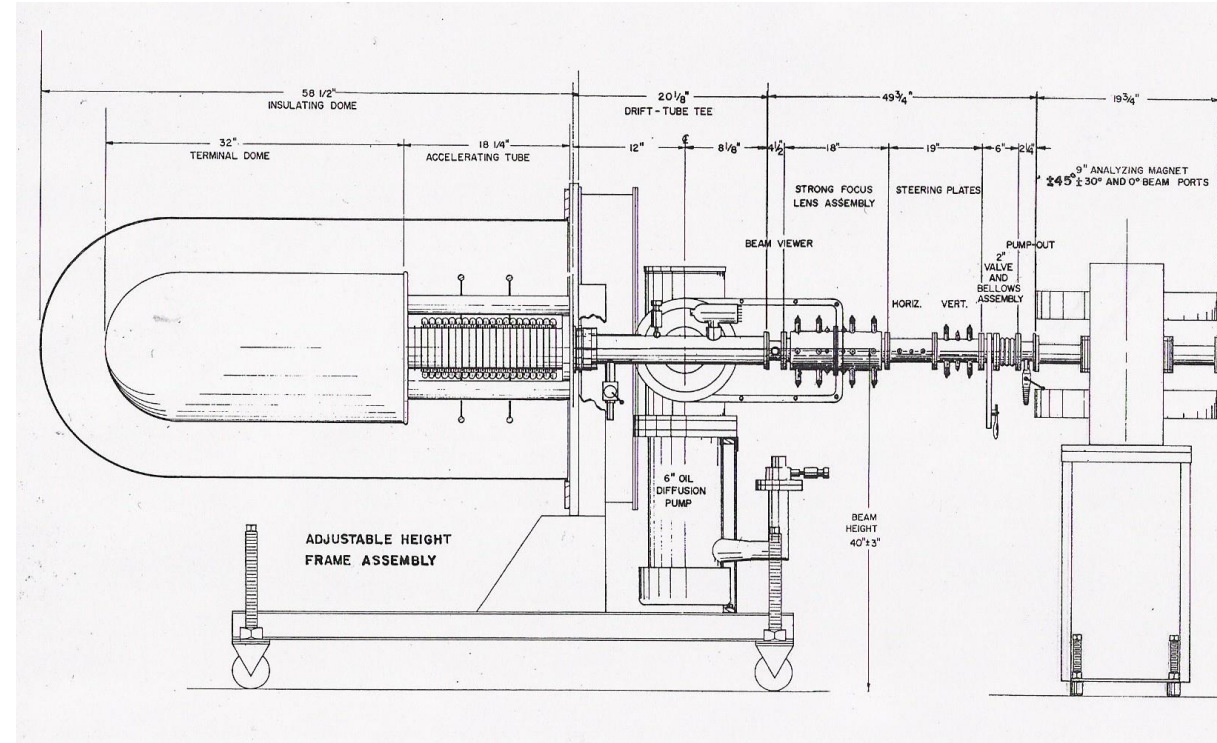
Magnetskim poljem ionski snop se zakreće za  $\pm 30^\circ$

Tricij je stacionaran u produkcijskoj meti

Tipičan tok neutrona  $10^7 \text{ s}^{-1} (4\pi)^{-1}$

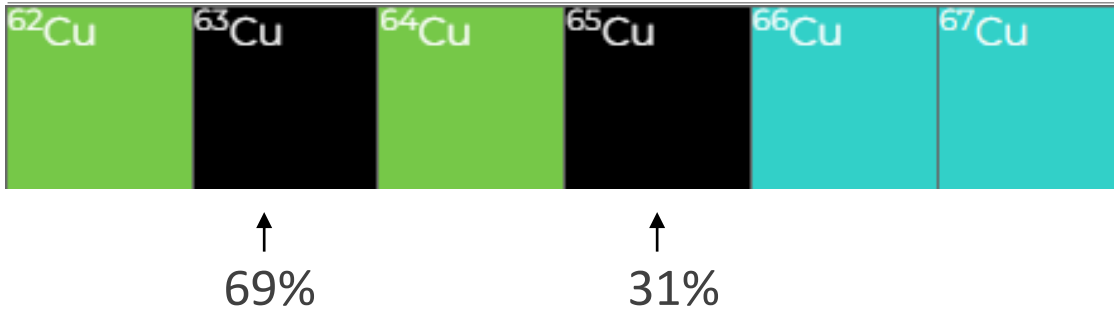
Detekcija zračenja aktiviranog uzorka: scintilacijski detektor [NaI(Tl)] + digitalna akvizicija

Raspon detekcije: 60 keV – 5 MeV



Shema akceleratora

# Bakar

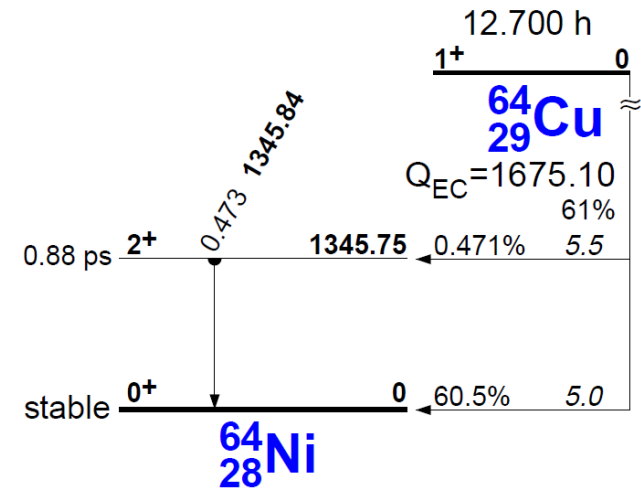
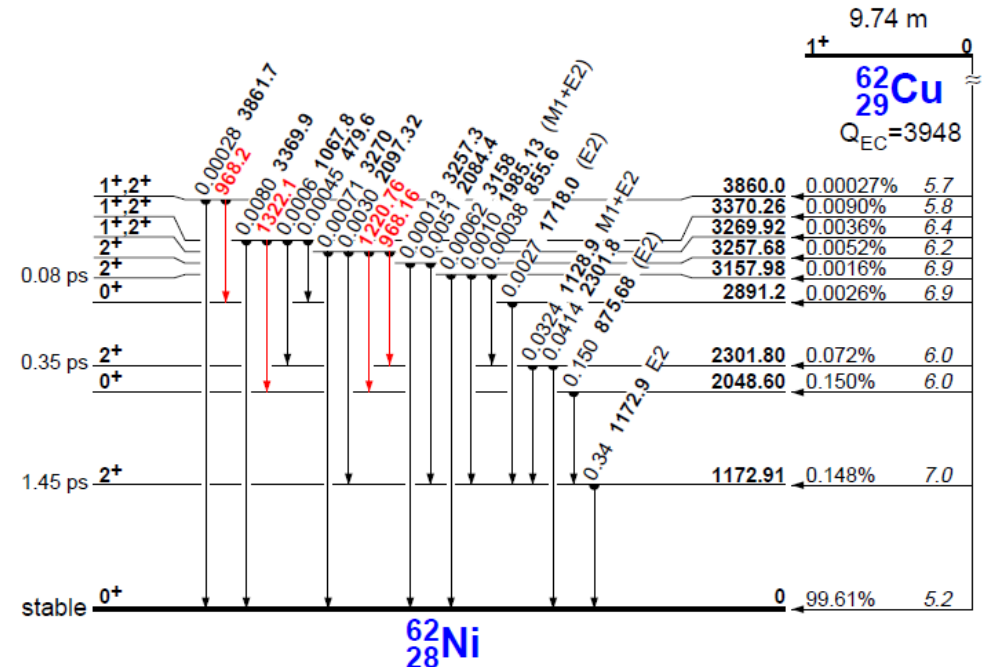


(n,2n) reakcijama nastaju  $\beta^+$  emiteri

Detektiramo gama fotone  $E = 511 \text{ keV}$  iz anihilacije

Komponente se raspadaju nezavisno

$$N(t) = C_1 2^{-t/T_1} + C_2 2^{-t/T_2} + N_0$$

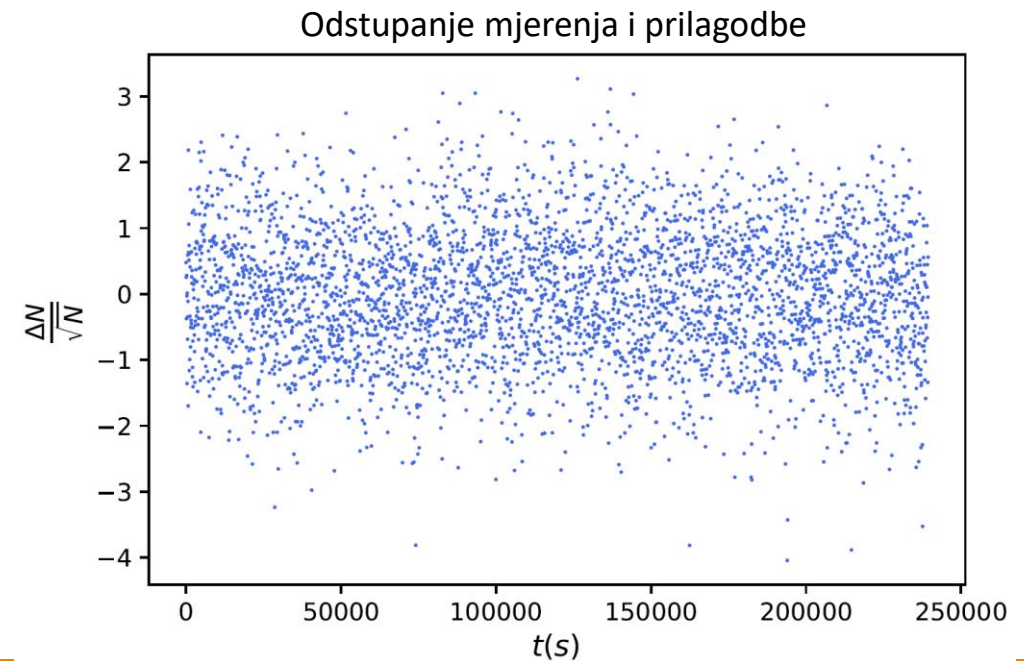
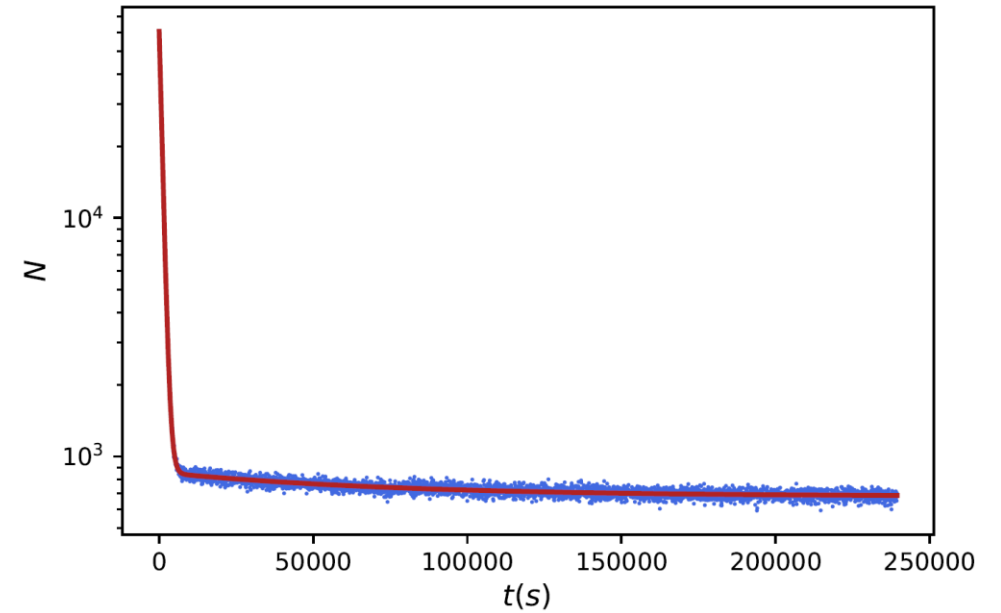


# Rezultati

Vrijeme mjerenja 66 sati, prosječni korak 62.3s

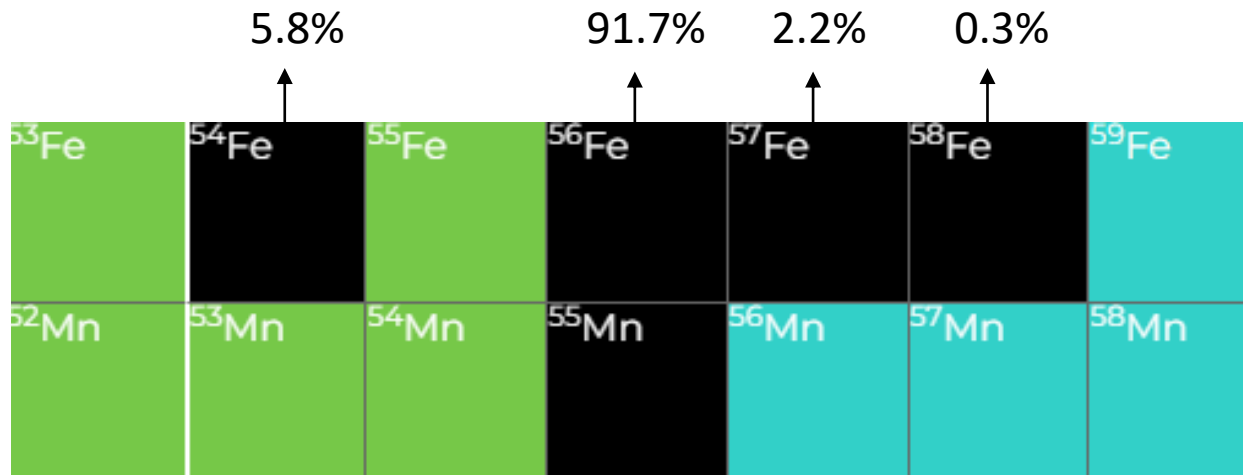
Izotop	Izmjereno vrijeme	Tablična vrijednost <sup>6</sup>
$^{62}\text{Cu}$	$(9.719 \pm 0.004)$ min	$(9.74 \pm 0.02)$ min
$^{64}\text{Cu}$	$(13.7 \pm 0.7)$ h	$(12.701 \pm 0.002)$ h

Nepouzdanost za kratkoživi izotop je manja od tablične  
Veće odstupanje za dugoživi izotop





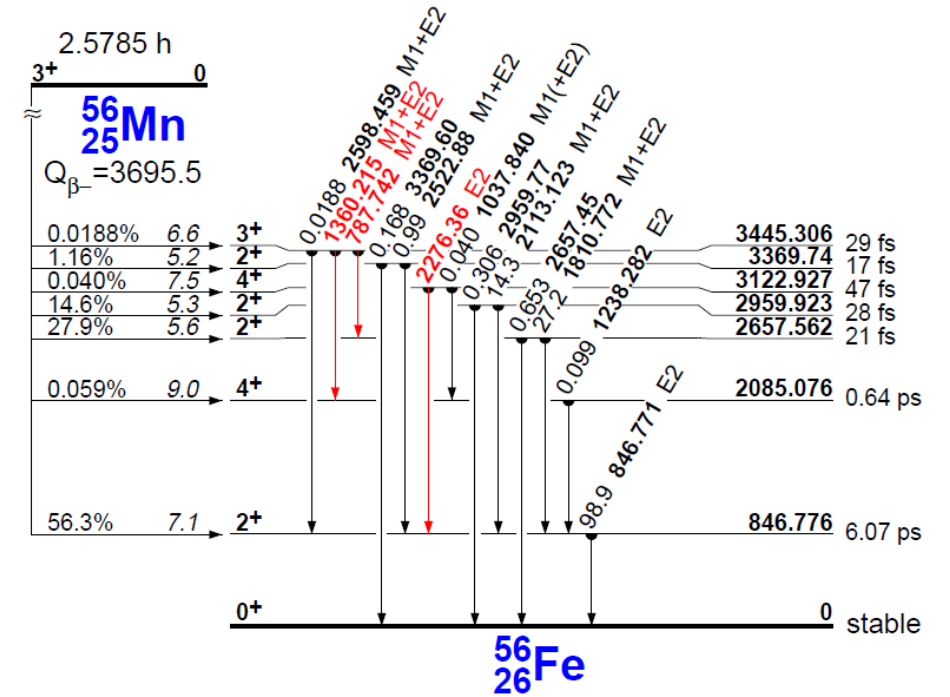
# Željezo



Dominira (n,p) reakcija na  $^{56}\text{Fe}$

Moguće su i (n,2n) reakcije

$^{56}\text{Mn}$  se raspada samo  $\beta^-$  raspadom!



Shema raspada  $^{56}\text{Mn}$

# Rezultati

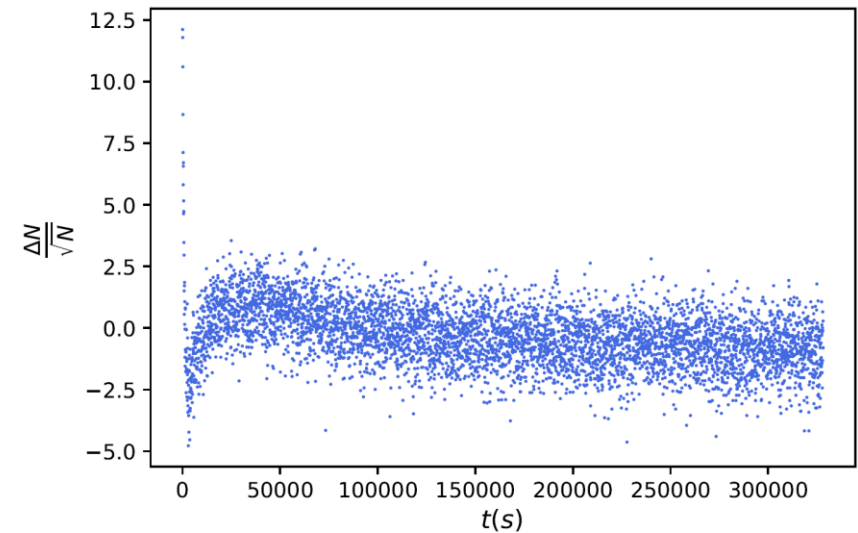
Vrijeme mjerenja 91 sat, prosječni korak 62.3s

Prilagodba na jednu eksponencijalu daje odstupanje koje ukazuje na postojanje kratkoživućeg izotopa

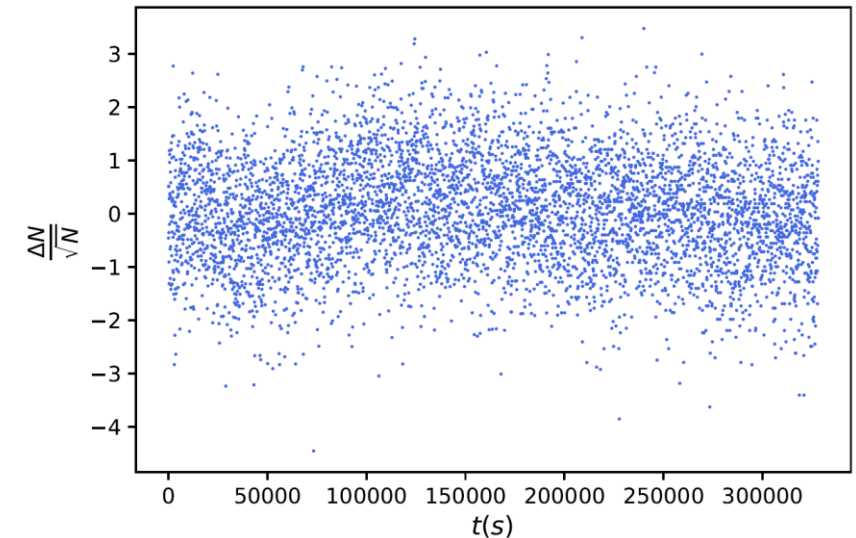
Osim  $^{56}\text{Mn}$  pojavljuje se još jedan izotop koji po vremenu poluraspada odgovara  $^{53}\text{Fe}$

Reakcija  $^{54}\text{Fe}(n, 2n)^{53}\text{Fe}$

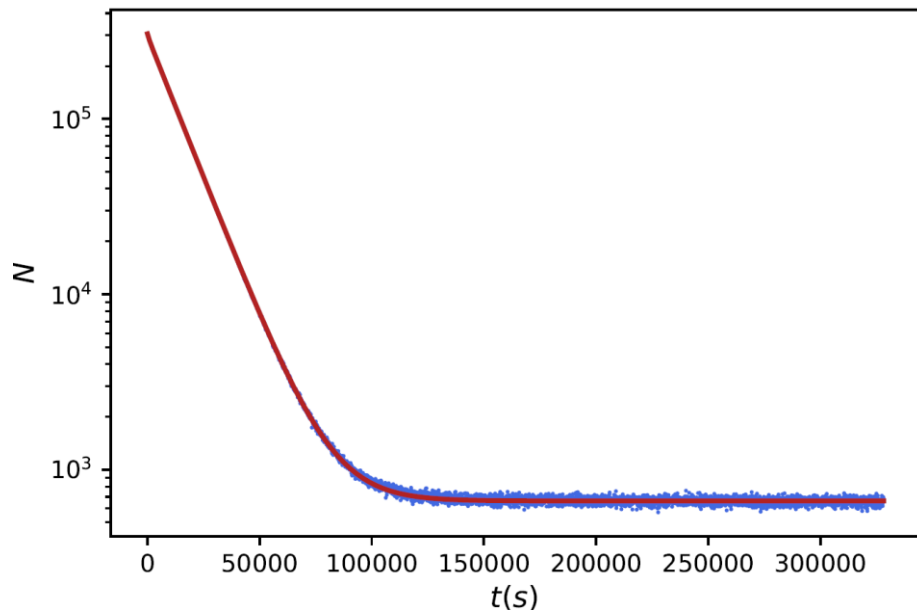
Odstupanja prilagodbe na jednu eksponencijalu



Odstupanja prilagodbe na dvije eksponencijale

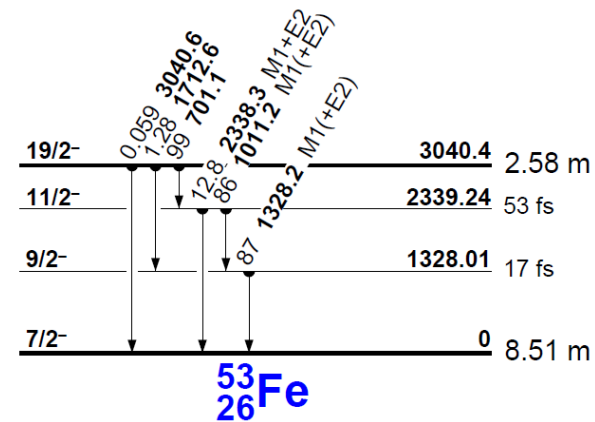


### Prilagodba na dvije eksponencijale



Izotop	Izmjereno vrijeme	Tablična vrijednost <sup>2,5</sup>
<sup>53</sup> Fe	$(7.9 \pm 0.1)$ min	$(8.51 \pm 0.02)$ min
<sup>56</sup> Mn	$(2.58 \pm 0.02)$ h	$(2.5789 \pm 0.0001)$ h

Rezultat s jednom eksponencijalom:  $T_{1/2} = (2.5702 \pm 0.0005)$  h



Shema raspada pobuđenog stanja <sup>53</sup>Fe

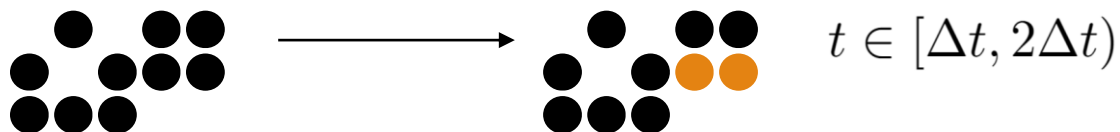
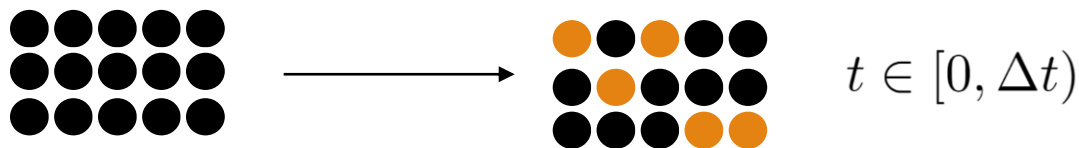
- Uzroci odstupanja za <sup>53</sup>Fe:
- Deeksitacija pobuđenog stanja
  - Izotopi <sup>57</sup>Mn ( $T = 1.7$  min) i <sup>58</sup>Mn ( $T = 1.1$  min)

# Monte – Carlo simulacije

Nepouzdanost za  $^{62}\text{Cu}$  je podcijenjena  
Bolji rezultat -> korištenje podataka iz više mjerenja  
Vjerojatnost da će se atom vremena poluraspada  
 $T_{1/2}$  raspasti u intervalu  $\Delta t$

$$p(\Delta t) = 1 - 2^{-\Delta t/T_{1/2}}$$

Raspad ako je slučajni broj  $< p(\Delta t)$



$\Delta t = 62.3 \text{ s}$

100 iteracija za simulaciju raspada bakra,

30 iteracija za željezo

Nelinearna prilagodba nakon svake iteracije

Opća srednja vrijednost rezultata

Izotop	Vrijeme poluraspada
$^{62}\text{Cu}$	$(9.74 \pm 0.02) \text{ min}$
$^{64}\text{Cu}$	$(12.7 \pm 0.2) \text{ h}$
$^{53}\text{Fe}$	$(8.53 \pm 0.05) \text{ min}$
$^{56}\text{Mn}$	$(2.578 \pm 0.002) \text{ h}$

# Reference

- [1] W. R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994)
- [2] R. B. Firestone, *Table of isotopes 8th ed.* (Wiley-VCH, Weinheim, 1999.)
- [3] R. Van Ammel, J. Paepen, S. Pomme', G. Sibbens, *Appl. Radiat. Isot.* **68** 2387-2392 (2010)
- [4] International Atomic Energy Agency, *Handbook on Nuclear Activation Cross-sections, Technical Reports Series* (IAEA, Vienna, 1974), p. 95-115.
- [5] M. S. Antony, D. Oster, A. Hackem, *J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters* **164** (5) 303-308 (1992)
- [6] International Atomic Energy Agency, *Handbook on Nuclear Activation Data* (IAEA, Vienna, 1987), p. 266-269.