

# **Raspad neparno – neparne jezgre $^{68}\text{Ga}$ dobivene (n, 2n) reakcijom s brzim neutronima**

Luka Lotina

Fizički odsjek, Prirodoslovno – matematički fakultet, Bijenička cesta 32, Zagreb

Mentor: dr. sc. Milivoj Uroić

Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Laboratorij za  
nuklearnu fiziku, Bijenička cesta 54, Zagreb

29. siječnja 2020.

- **Galij:**

- $Z = 31$

- Dva stabilna izotopa:  $^{69}\text{Ga}$  (60.11%) i  $^{71}\text{Ga}$  (39.89%) [1]

- Dosad su proizvedeni izotopi galija u rasponu  $A = 56$  do  $A = 86$  → mapa nuklida.

- **$^{68}\text{Ga}$ :**

- $Z = 31, N = 37$  → neparno – neparna jezgra

- Nestabilna jezgra →  $\beta^+$  raspad u  $^{68}\text{Zn}$ , najčešće u osnovno, nekad u neko od pobuđenih stanja

- Kratkoživući izotop, službeno vrijeme poluraspada  $T_{1/2} = (67.71 \pm 0.09)$  min dobiveno Bayesianским uprosječivanjem 7 dosad izmjerenih vremena [2]

- Bayesianски prosjek:

Procijenjena srednja vrijednost

$$\bar{x} = \frac{Cm + \sum_{i=1}^n x_i}{C + n}$$

Rezultati pojedinih mjerenja

Procijenjen broj s obzirom na optimalan broj mjerenja

Broj mjerenja

## Mapa nuklida A = 56 - 71

				<b>64Se</b> >180 NS ε: 100.00%	<b>65Se</b> <50 MS ε: 100.00%	<b>66Se</b> 33 MS ε: 100.00%	<b>67Se</b> 136 MS ε: 100.00% BP: 0.50%	<b>68Se</b> 35.5 S ε: 100.00%	<b>69Se</b> 27.4 S ε: 100.00% ep: 0.05%	<b>70Se</b> 41.1 M ε: 100.00%	<b>71Se</b> 4.74 M ε: 100.00%	<b>72Se</b> 8.40 D ε: 100.00%	<b>73Se</b> 7.15 H ε: 100.00%	<b>74Se</b> STABLE 0.89%	
		<b>60As</b> P	<b>61As</b> P	<b>62As</b> P	<b>63As</b> P	<b>64As</b> 18 MS ε: 100.00%	<b>65As</b> 128 MS ε: 100.00%	<b>66As</b> 95.79 MS ε: 100.00%	<b>67As</b> 42.5 S ε: 100.00%	<b>68As</b> 151.6 S ε: 100.00%	<b>69As</b> 15.2 M ε: 100.00%	<b>70As</b> 52.6 M ε: 100.00%	<b>71As</b> 65.28 H ε: 100.00%	<b>72As</b> 26.0 H ε: 100.00%	<b>73As</b> 80.30 D ε: 100.00%
	<b>58Ge</b> 2P	<b>59Ge</b> 2P	<b>60Ge</b> ≈ 30 MS 2P ε	<b>61Ge</b> 39 MS ε: 100.00% ep: 80.00%	<b>62Ge</b> 129 MS ε	<b>63Ge</b> 142 MS ε: 100.00%	<b>64Ge</b> 63.7 S ε: 100.00%	<b>65Ge</b> 30.9 S ε: 100.00%	<b>66Ge</b> 2.26 H ε: 100.00%	<b>67Ge</b> 18.9 M ε: 100.00%	<b>68Ge</b> 270.95 D ε: 100.00%	<b>69Ge</b> 39.05 H ε: 100.00%	<b>70Ge</b> STABLE 20.37%	<b>71Ge</b> 11.43 D ε: 100.00%	<b>72Ge</b> STABLE 27.31%
<b>56Ga</b> P	<b>57Ga</b> P	<b>58Ga</b> P	<b>59Ga</b> P	<b>60Ga</b> 70 MS ε: 98.40% ep: 1.60%	<b>61Ga</b> 168 MS ε: 100.00%	<b>62Ga</b> 116.18 MS ε: 100.00%	<b>63Ga</b> 32.4 S ε: 100.00%	<b>64Ga</b> 2.627 M ε: 100.00%	<b>65Ga</b> 15.2 M ε: 100.00%	<b>66Ga</b> 9.49 H ε: 100.00%	<b>67Ga</b> 3.2617 D ε: 100.00%	<b>68Ga</b> 67.71 M ε: 100.00%	<b>69Ga</b> STABLE 60.108%	<b>70Ga</b> 21.14 M β-: 99.59% ε: 0.41%	<b>71Ga</b> STABLE 39.892%

## Mapa nuklida A = 72 - 86

<b>75Se</b> 119.79 D ε: 100.00%	<b>76Se</b> STABLE 9.37%	<b>77Se</b> STABLE 7.63%	<b>78Se</b> STABLE 23.77%	<b>79Se</b> 2.95E+5 Y β-: 100.00%	<b>80Se</b> STABLE 49.61%	<b>81Se</b> 18.45 M β-: 100.00%	<b>82Se</b> STABLE 8.73%	<b>83Se</b> 22.3 M β-: 100.00%	<b>84Se</b> 3.10 M β-: 100.00%	<b>85Se</b> 31.7 S β-: 100.00%	<b>86Se</b> 15.3 S β-: 100.00%	<b>87Se</b> 5.50 S β-: 100.00% β-n: 0.20%	<b>88Se</b> 1.53 S β-: 100.00% β-n: 0.67%	<b>89Se</b> 0.41 S β-: 100.00% β-n: 7.80%
<b>74As</b> 17.77 D ε: 66.00% β-: 34.00%	<b>75As</b> STABLE 100%	<b>76As</b> 1.0942 D β-: 100.00%	<b>77As</b> 38.83 H β-: 100.00%	<b>78As</b> 90.7 M β-: 100.00%	<b>79As</b> 9.01 M β-: 100.00%	<b>80As</b> 15.2 S β-: 100.00%	<b>81As</b> 33.3 S β-: 100.00%	<b>82As</b> 19.1 S β-: 100.00%	<b>83As</b> 13.4 S β-: 100.00%	<b>84As</b> 3.24 S β-: 100.00% β-n: 0.28%	<b>85As</b> 2.021 S β-: 100.00% β-n: 59.40%	<b>86As</b> 0.945 S β-: 100.00% β-n: 33.00%	<b>87As</b> 0.56 S β-: 100.00% β-n: 15.40%	<b>88As</b> ≥ 300 NS β-: 100.00%
<b>73Ge</b> STABLE 7.76%	<b>74Ge</b> STABLE 36.73%	<b>75Ge</b> 82.78 M β-: 100.00%	<b>76Ge</b> 1.78E+21 Y 7.83% 2β-	<b>77Ge</b> 11.30 H β-: 100.00%	<b>78Ge</b> 88.0 M β-: 100.00%	<b>79Ge</b> 18.98 S β-: 100.00%	<b>80Ge</b> 29.5 S β-: 100.00%	<b>81Ge</b> 7.6 S β-: 100.00%	<b>82Ge</b> 4.55 S β-: 100.00%	<b>83Ge</b> 1.85 S β-: 100.00%	<b>84Ge</b> 0.947 S β-: 100.00% β-n: 10.80%	<b>85Ge</b> 535 MS β-: 100.00% β-n: 14.00%	<b>86Ge</b> >150 NS β-	<b>87Ge</b> ≈ 0.14 S β-: 100.00% β-n
<b>72Ga</b> 14.095 H β-: 100.00%	<b>73Ga</b> 4.86 H β-: 100.00%	<b>74Ga</b> 8.12 M β-: 100.00%	<b>75Ga</b> 126 S β-: 100.00%	<b>76Ga</b> 32.6 S β-: 100.00%	<b>77Ga</b> 13.2 S β-: 100.00%	<b>78Ga</b> 5.09 S β-: 100.00%	<b>79Ga</b> 2.847 S β-: 100.00% β-n: 0.09%	<b>80Ga</b> 1.676 S β-: 100.00% β-n: 0.86%	<b>81Ga</b> 1.217 S β-: 100.00% β-n: 11.90%	<b>82Ga</b> 0.599 S β-: 100.00% β-n: 19.80%	<b>83Ga</b> 0.308 S β-: 100.00% β-n: 37.00%	<b>84Ga</b> 0.085 S β-: 100.00% β-n: 70.00%	<b>85Ga</b> >150 NS β-	<b>86Ga</b> >150 NS β-

- **Nuklearni raspad:**

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

Konstanta raspada

/ \

/ \

Broj jezgara u trenutku  $t$       Početni broj jezgara

- **Vrijeme poluraspada:**

$$N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \qquad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

- **Aktivnost:**

$$A = -\frac{dN}{dt} \qquad A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

/ \      / \

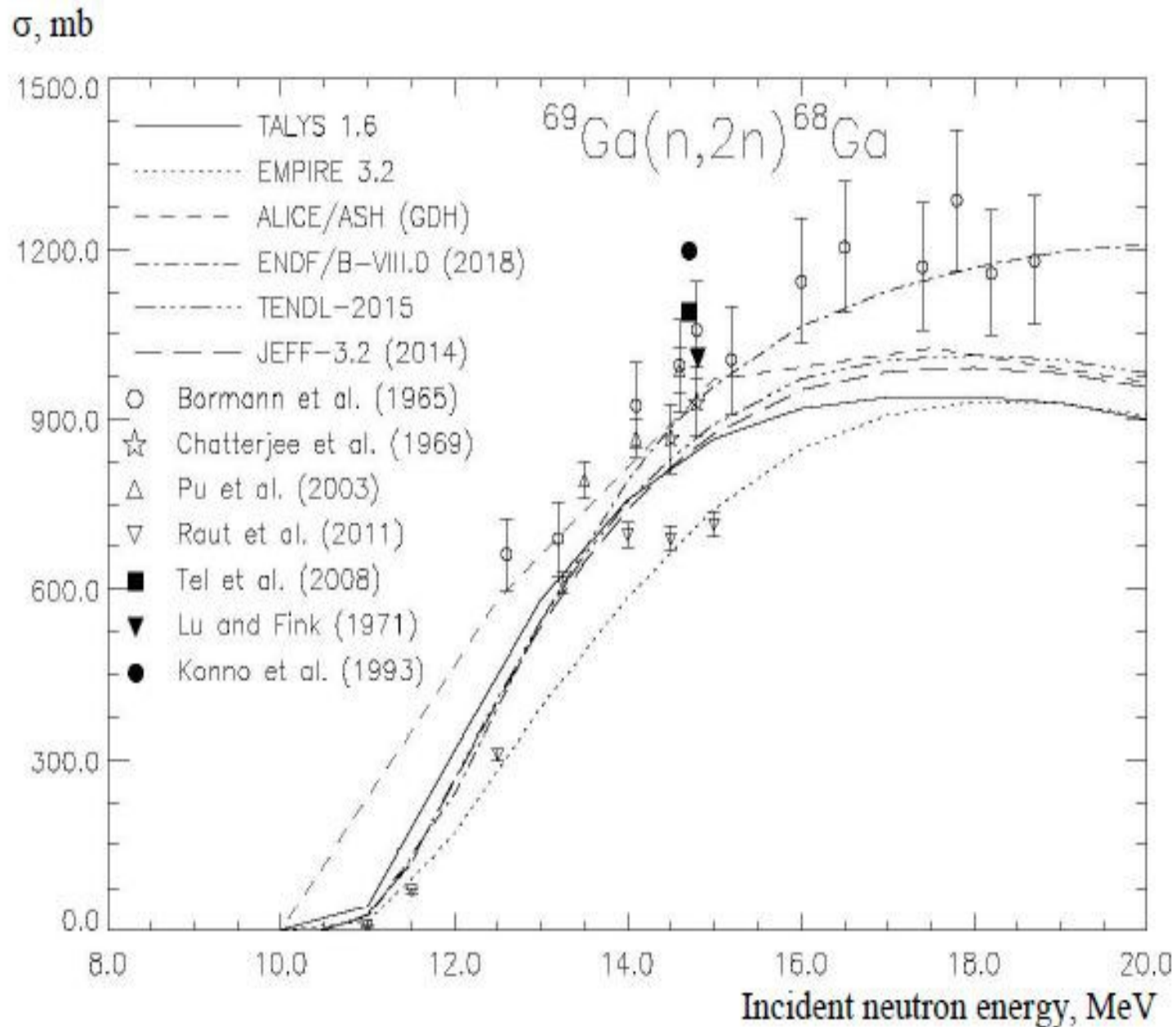
Aktivnost u trenutku  $t$       Početna aktivnost

## • (n, 2n) reakcija s brzim neutronima:

- Brzi neutron:  $100 \text{ keV} < E_k < 20 \text{ MeV}$

- Reakcija:  ${}^{69}\text{Ga} (n, 2n) {}^{68}\text{Ga}$

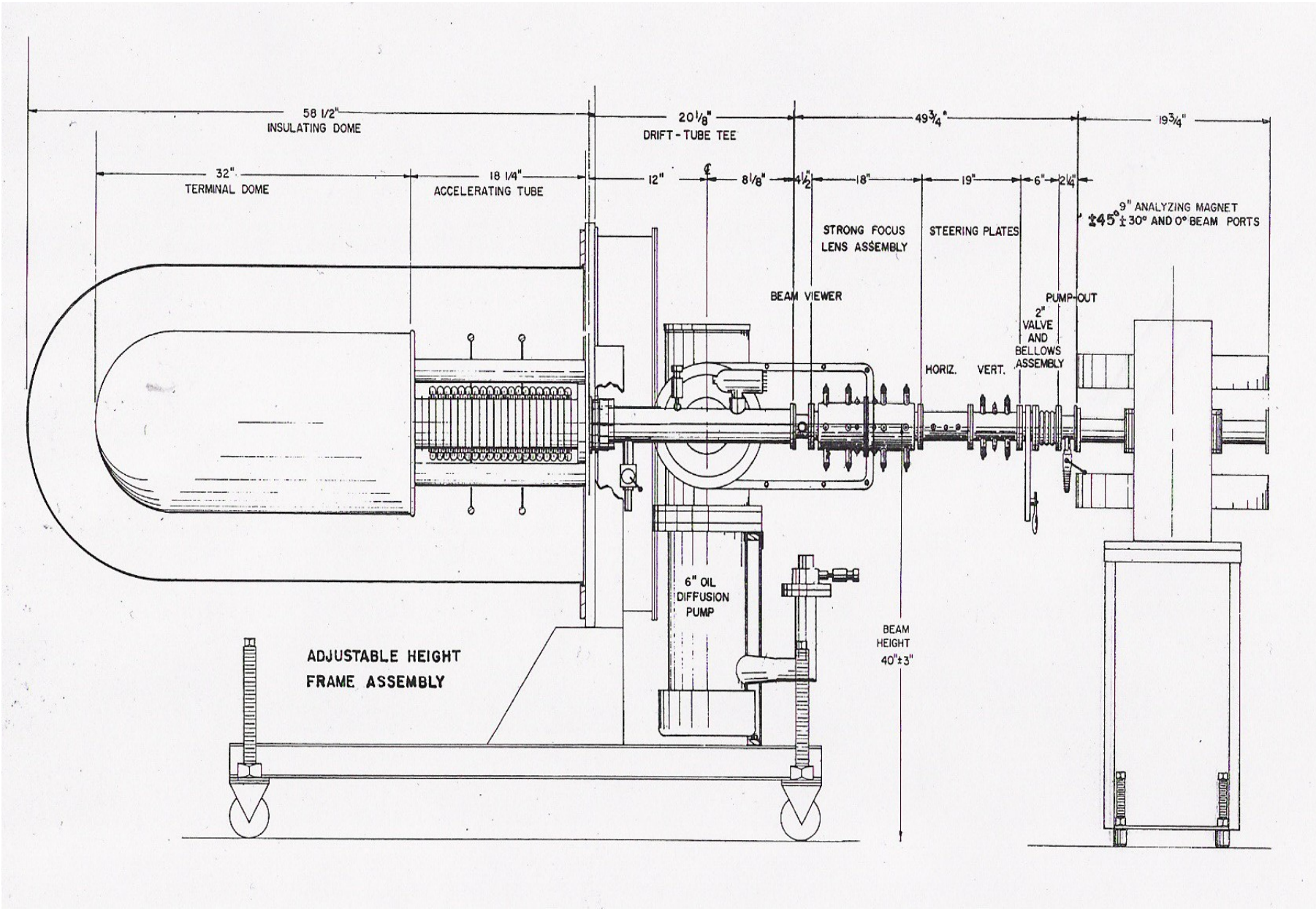
- Udarni presjek u ovisnosti o energiji neutrona [3]:



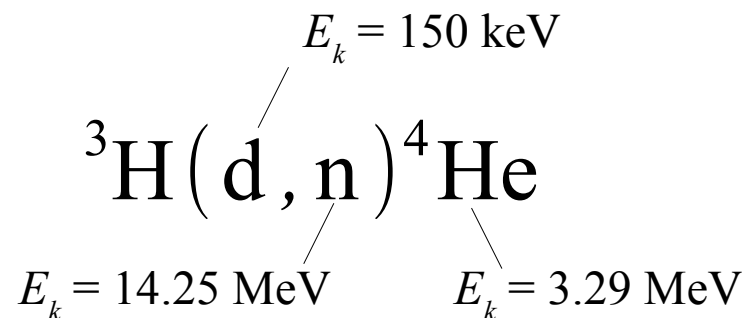
• **Proizvodnja brzih neutrona – Linearni akcelerator:**

- Glavni dijelovi: RF oscilator, akceleracijska cijev, magnet, postolje za metu, boca s deuterijskim plinom

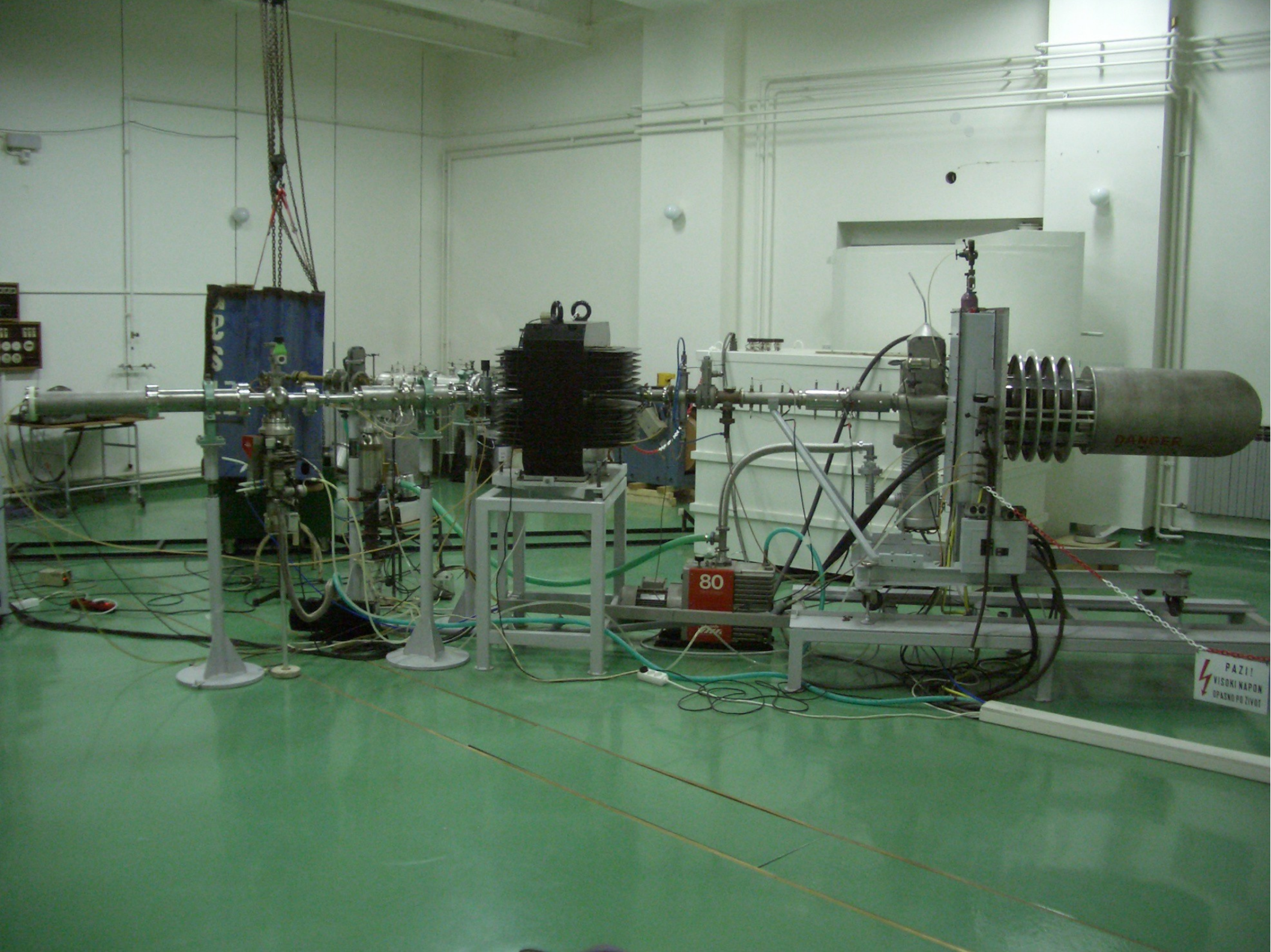
- Shema:



- **RF oscilator:**
  - Radiovalovima razara atome deuterijskog plina na jezgre deuterona i slobodne elektrone.
  - Napon je postavljen tako da jezgre deuterona odlaze u akceleracijsku cijev, a elektroni su spriječeni.
- **Akceleracijska cijev:**
  - 22 elektrode, ubrzavanje deuterona
- **Magnet:**
  - Zakretanje jezgara deuterona, usmjeravanje prema postolju s nepokretnom metom
- **Postolje s metom:**
  - Nepokretna meta tricija, reakcija:

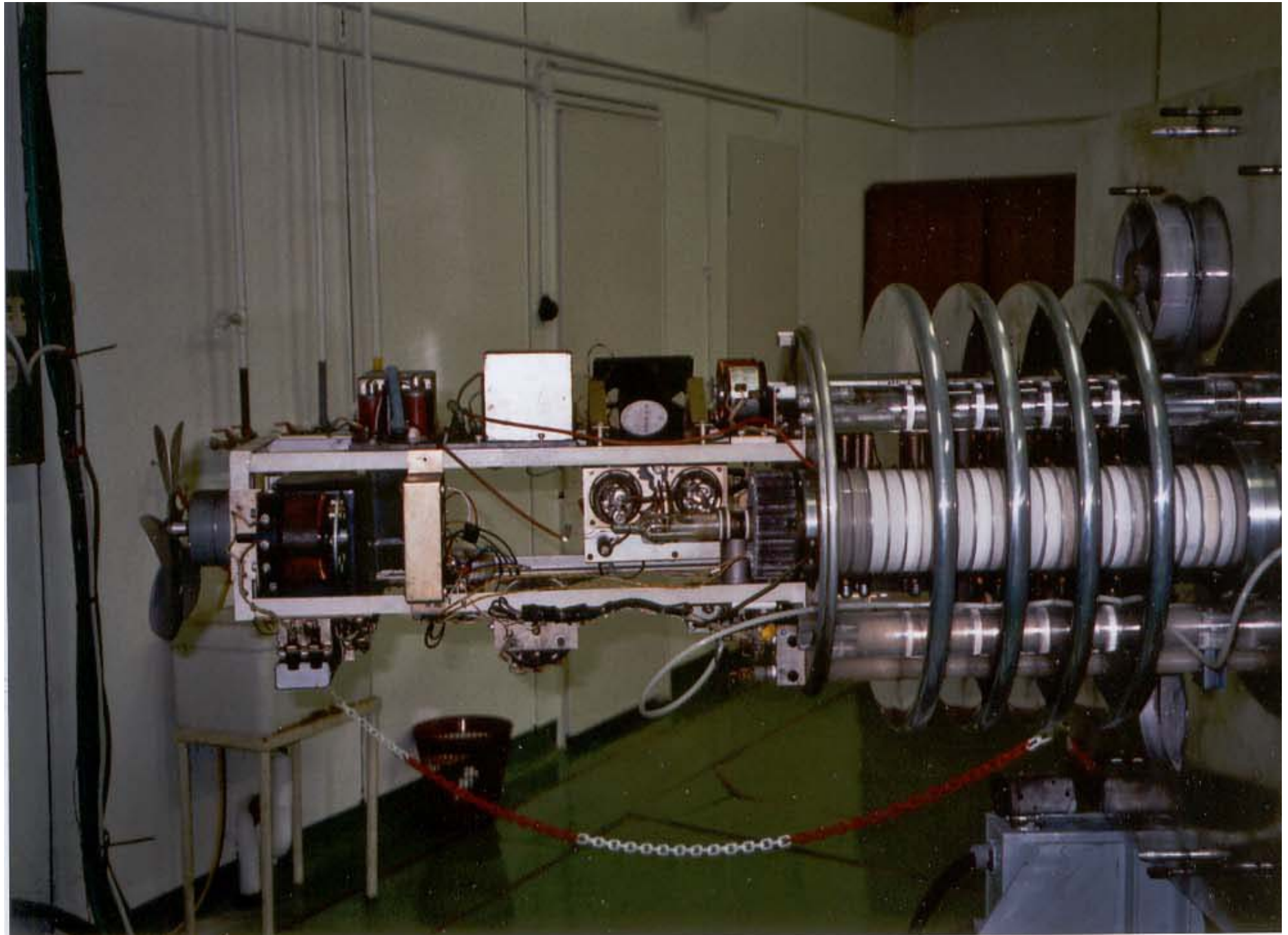


- Uzorak galija postavlja se odmah iza mete tricija da se osigura što veći broj (n, 2n) reakcija.



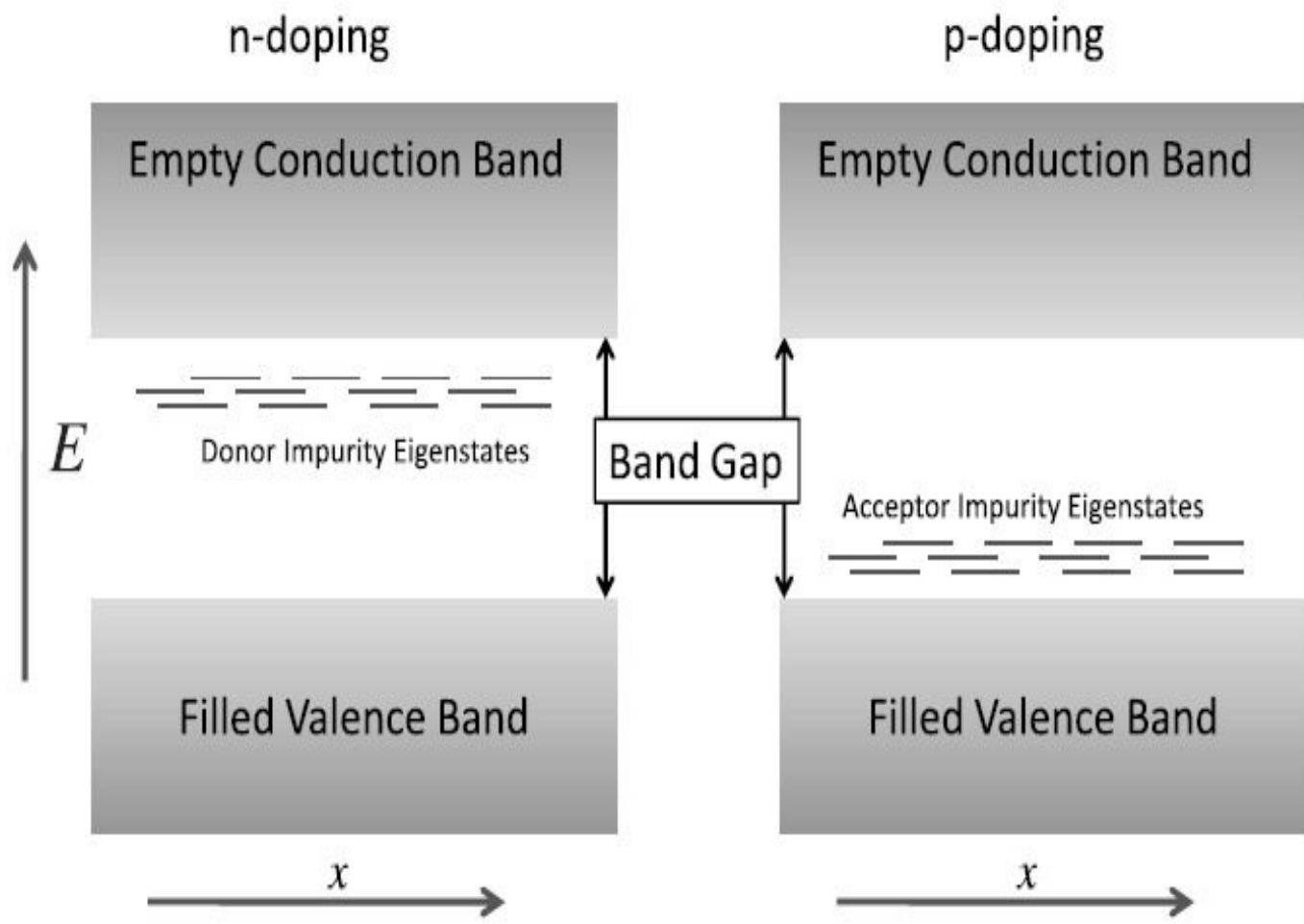


- RF oscilator i akceleracijska cijev:

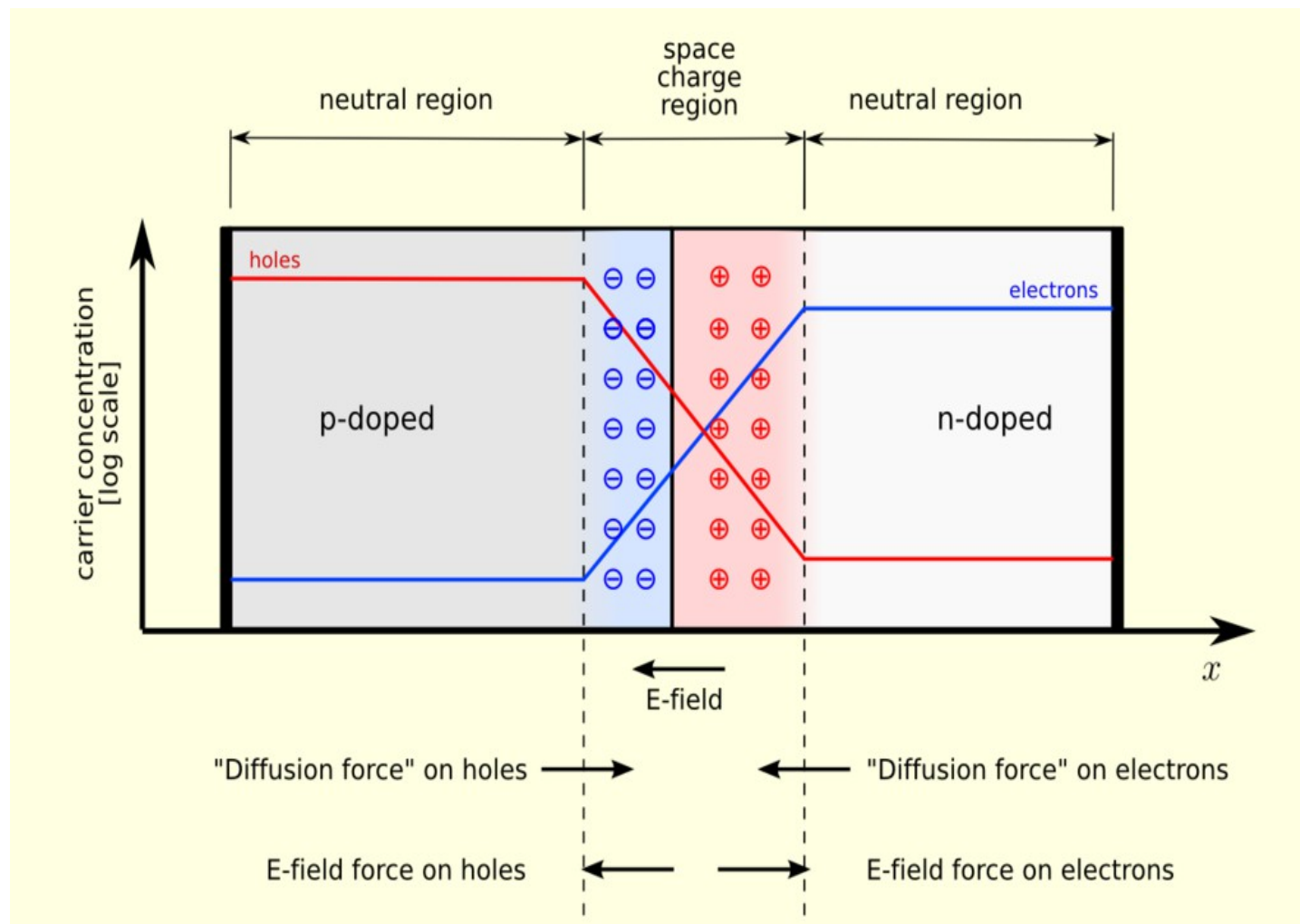


• **Germanijski detektor:**

- Detektira  $\gamma$  – zračenje iz ozračenog uzorka.
- Germanijska poluvodička dioda  $\rightarrow$  (n – p) spoj
- Poluvodiči: intrinzični i dopirani (n – tip i p – tip) [4]



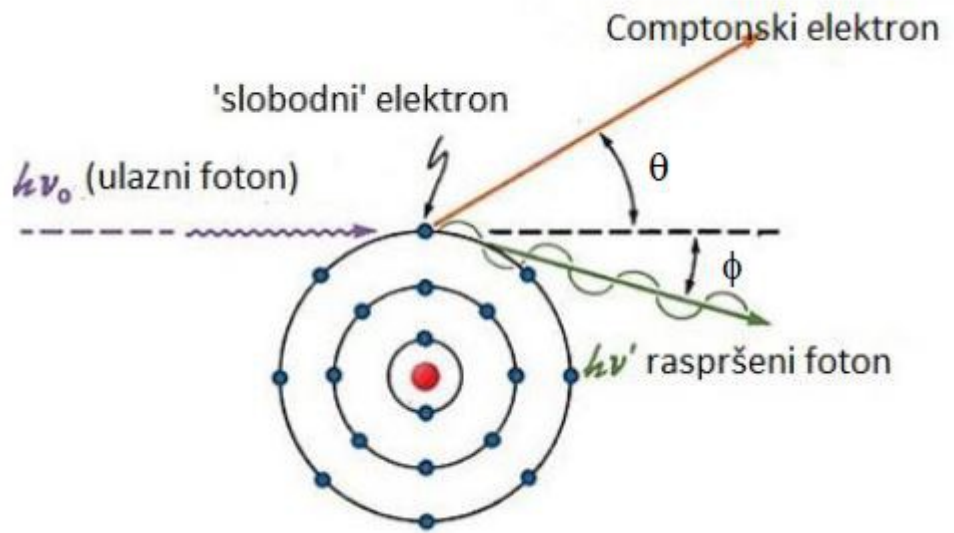
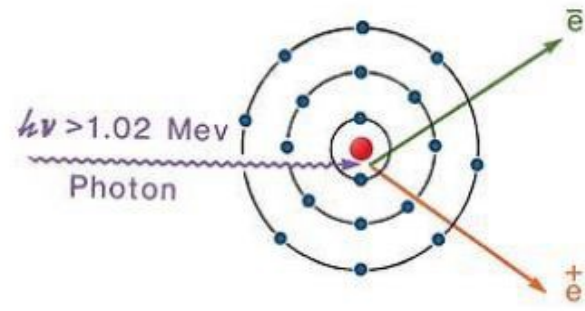
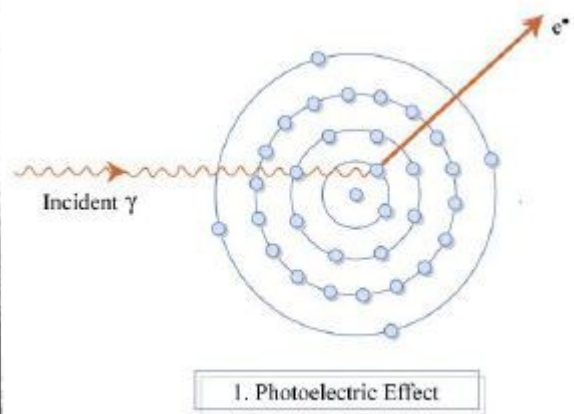
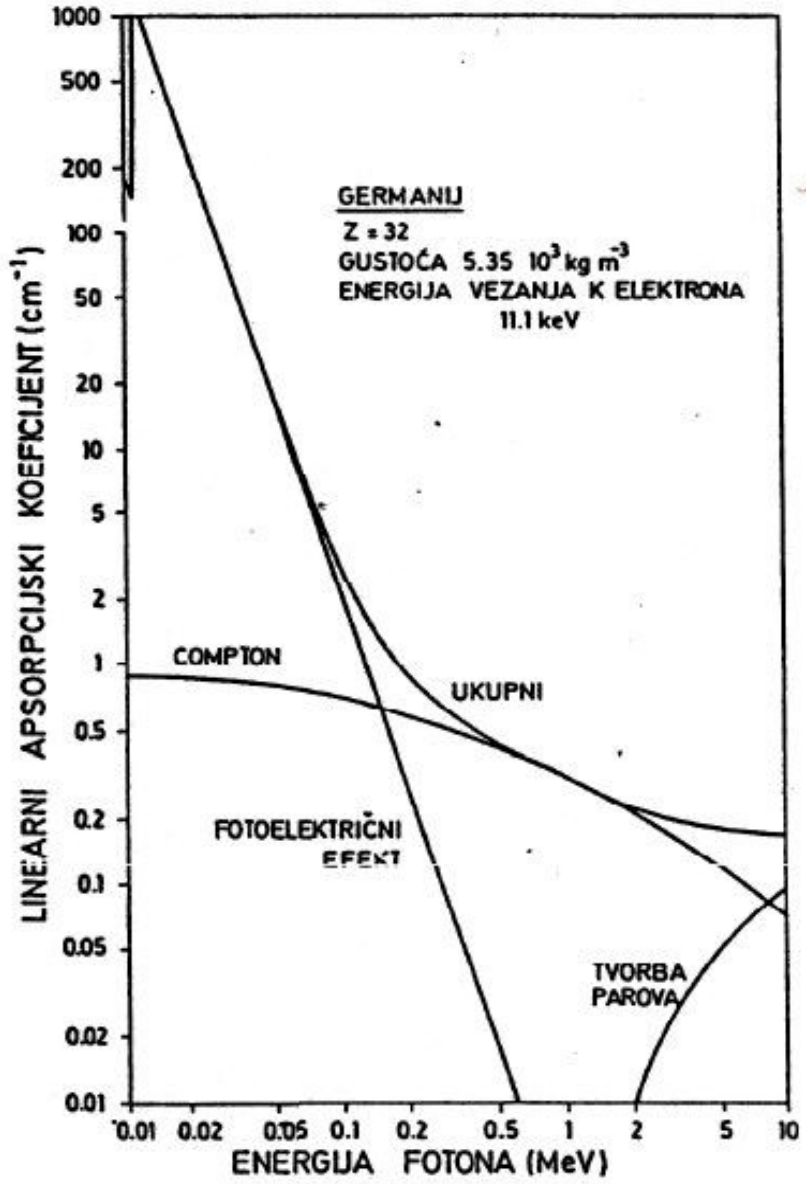
- Spajanjem diode na suprotnu polarizaciju napona nastaje tzv. osiromašeni sloj, prostorna raspodjela naboja oko n – p spoja  $\rightarrow$  električno polje:



- Prolaskom nabijenih čestica kroz osiromašeni sloj dolazi do pobuđivanja elektrona i šupljina u vodljivu i valentnu vrpcu.
- Nakupljanje elektrona i šupljina na pozitivnoj i negativnoj elektrodi  $\rightarrow$  električni signal

• **Detekcija  $\gamma$  – zračenja:**

- Interakcija  $\gamma$  – zračenja s atomom  $\rightarrow$  izbijanje elektrona iz ljuske  $\rightarrow$  prolazak elektrona kroz osiromašeni sloj  $\rightarrow$  pobuđivanje elektrona i šupljina  $\rightarrow$  električni signal
- Vrste interakcija: Comptonско raspršenje, fotoelektrični efekt, tvorba para





CAUTION  
THIS MACHINE  
HAS NO BRAIN  
USE YOUR OWN

SVIJET ATOMSKIH JEZGARA

CANBERRA



PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

- **ADC konverter:**
  - Pretvara električni signal u digitalni zapis kojeg možemo računalno obrađivati.
  - 4096 kanala, svaki kanal odgovara određenoj energiji
  - Energija linearno ovisi o rednom broju kanala:

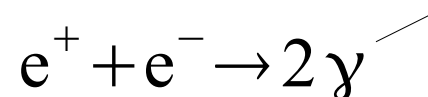
$$E = a \cdot \text{kanal} + b$$

- Koeficijenti  $a$  i  $b$  dobivaju se iz kalibracije detektora iz vrhova poznatih energija.
- Detektira se i signal iz pulsera koji daje signal svakih 20 ms  $\longrightarrow$  vremenska skala.
- Spektar zračenja  $\longrightarrow$  graf ovisnosti broja detektiranih impulsa o energiji

- **Detekcija raspada  $^{68}\text{Ga}$ :**

- $\beta^+$  raspad (emisija pozitrona)  $\longrightarrow$  pozitron nakon kratkog vremena nalijeće na slobodni elektron:

Svaki foton ima energiju  $E_\gamma \approx 511 \text{ keV}$



- 2 fotona gibaju se u suprotnim smjerovima  $\longrightarrow$  1 detektirani foton = 1 raspad
- Pojava anihilacijskog vrha za energiju 511 keV

- **ADC konverter i računalo:**



## • Opis mjerenja:

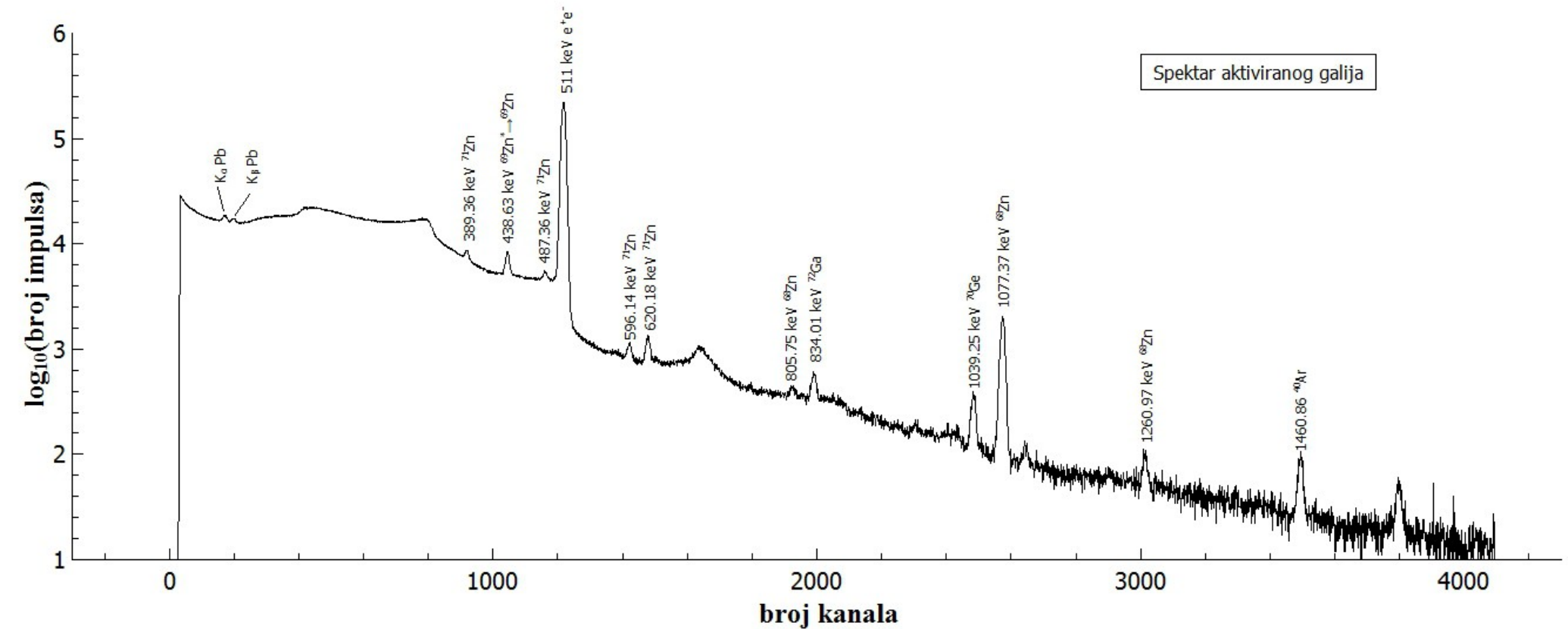
- 1. korak: generiranje brzih neutrona u akceleratoru i ozračivanje uzorka galija dobivenim snopom, ozračivanje u trajanju otprilike 1h
- 2. korak: stavljanje ozračenog uzorka pred germanijski detektor, mjerenje spektra zračenja malo manje od 20h
- 3. korak: analiza spektra zračenja → vrhovi na grafu predstavljaju zabilježene prijelaze i reakcije → kalibracija pomoću vrhova poznatih energija → određivanje energija za preostale vrhove
- 4. korak: detekcija prijelaza za  $^{68}\text{Zn}$  između pobuđenih stanja te između pobuđenog i osnovnog stanja
- 5. korak: uzimanje podataka s anihilacijskog vrha energije 511 keV i određivanje broja raspada u nekom vremenskom intervalu pomoću signala iz pulsera → fit eksponencijalnog raspada prvog reda i izračun vremena poluraspada za  $^{68}\text{Ga}$ :

$$y = y_0 + A e^{-x/t}$$

$$T_{1/2} = t \cdot \ln 2$$



# • Spektar zračenja:

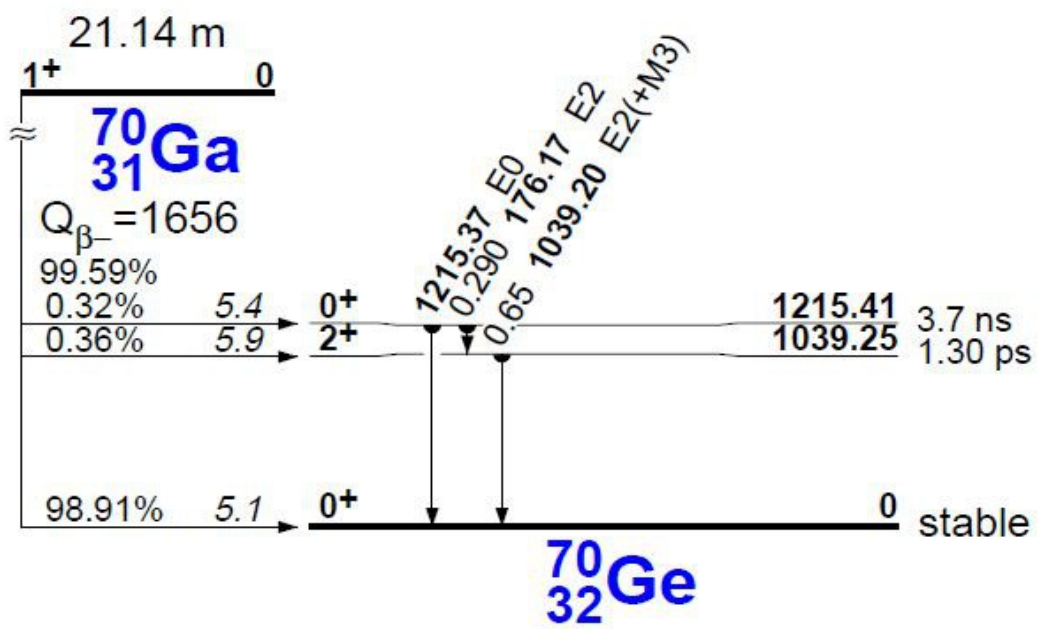
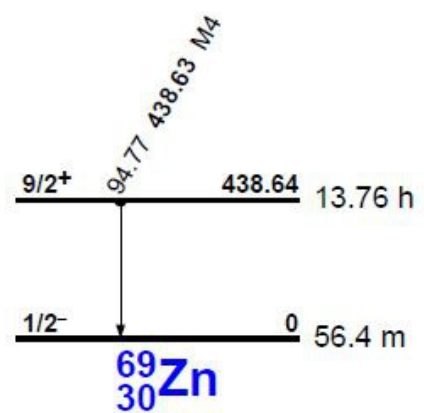
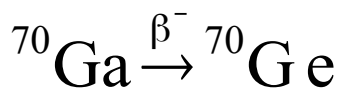
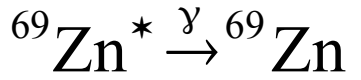
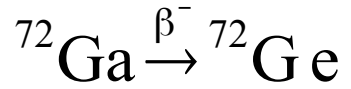
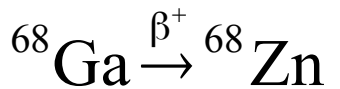
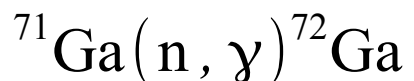
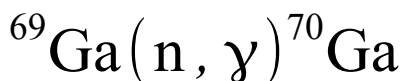
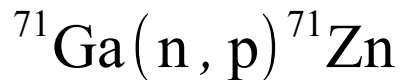
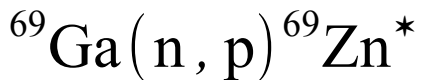
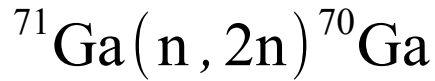
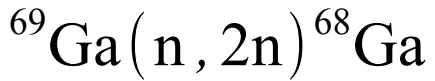


- Poznati vrhovi: 511 keV, 1039.25 keV, 1077.37 keV, 1460.86 keV

- Kalibracija:

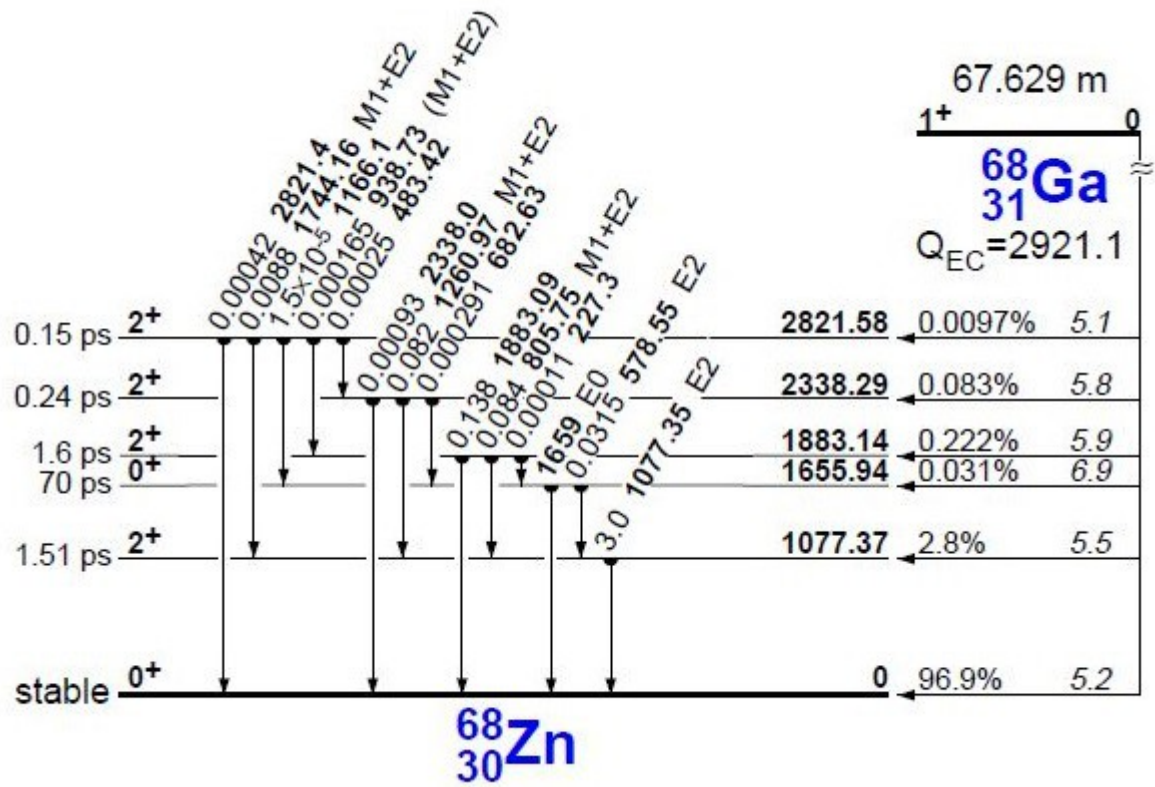
$$E = 0.417671 \text{ keV} \cdot \text{kanal} + 2.435 \text{ keV}$$

• Opažene reakcije i prijelazi:

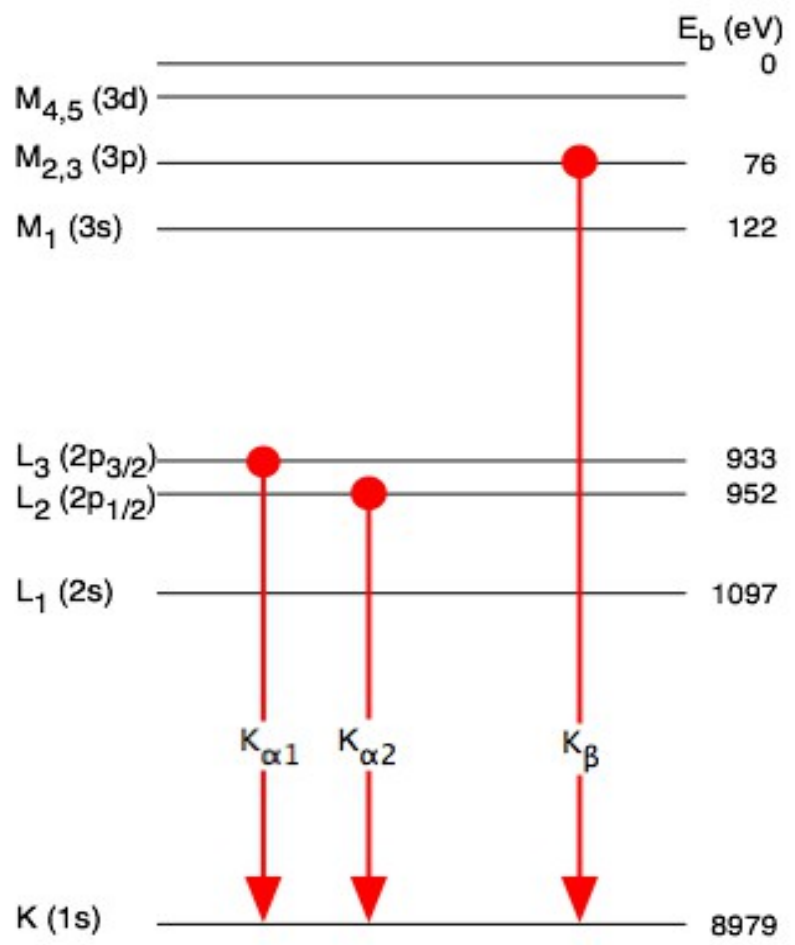


• Opaženi prijelazi za  $^{68}\text{Zn}$ :

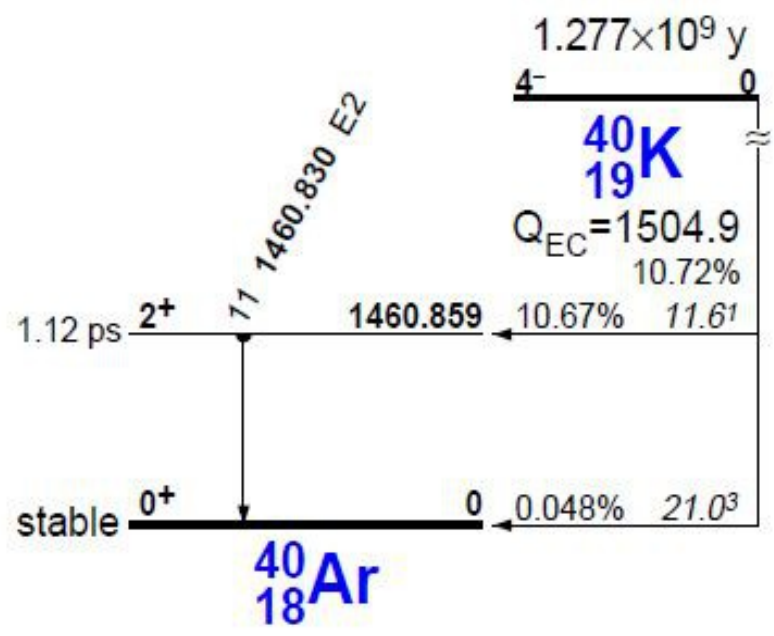
Energija (keV)	Prijelaz
805.75	$2^+$ (treće pobuđeno) $\rightarrow$ $2^+$ (prvo pobuđeno)
1077.37	$2^+$ (prvo pobuđeno) $\rightarrow$ $0^+$ (osnovno)
1260.97	$2^+$ (četvrto pobuđeno) $\rightarrow$ $2^+$ (prvo pobuđeno)



• Još neke opažene reakcije:



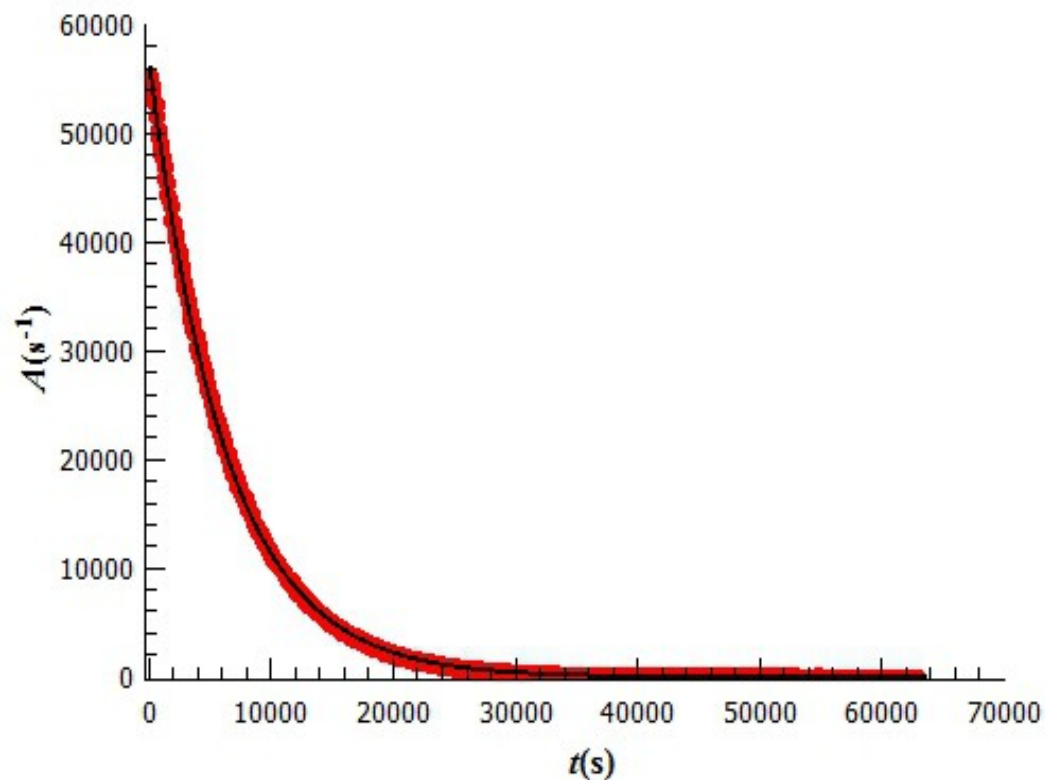
Karakteristično rendgensko zračenje olova



Raspad kalija u argon elektronskim uhvatom

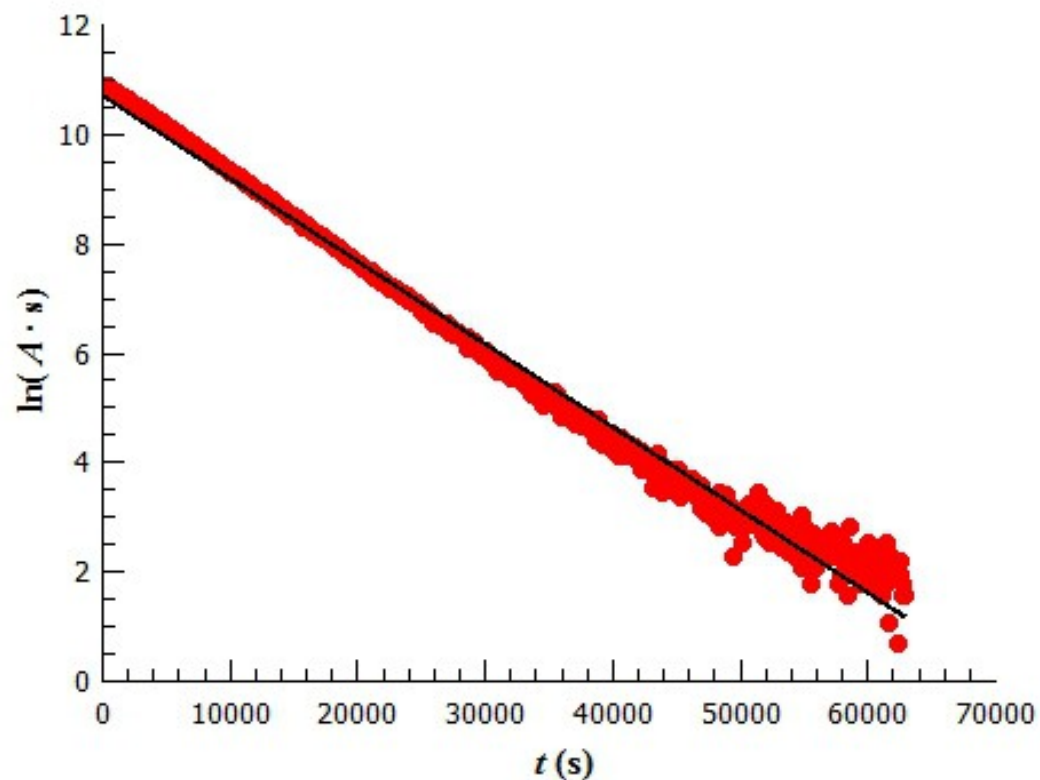
- **Vrijeme poluraspada  $^{68}\text{Ga}$ :**

Grafovi za jedno od dva mjerenja, eksponencijalni raspad i graf s logaritmiranom aktivnošću



- prvo mjerenje:

$$T_{1/2} = (67.91 \pm 0.06) \text{ min}$$



-drugo mjerenje:

$$T_{1/2} = (68.1 \pm 0.1) \text{ min}$$

- Uzeta je opća aritmetička sredina kao konačni rezultat:

$$T_{1/2} = (67.94 \pm 0.06) \text{ min}$$

Vrijeme poluraspada (min)	Pogreška (min)
67.7	0.3
69.2	1.4
68.33	0.09
68.2	0.1
68.5	0.5
67.8	0.8
67.629	0.024

- Bayesianški prosjek:  $T_{1/2} = (67.71 \pm 0.09) \text{ min}$

- **Zaključak:**

- Utvrđeno je da je dominantna reakcija brzih neutrona s jezgrom  $^{69}\text{Ga}$  (n, 2n) reakcija.
- Uočena su tri raspada  $^{68}\text{Ga}$  u  $^{68}\text{Zn}$ : u prvo, treće i četvrto pobuđeno stanje te dominantne deeksitacije iz tih stanja. Ostatak ide dominantno u osnovno stanje (96.9 %)
- Dobiveno vrijeme poluraspada odstupa u prvoj decimali od Bayesijskog prosjeka, ali se nalazi unutar intervala dosad izmjerenih vremena poluraspada pa naše vrijeme možemo smatrati dobro izmjerenim.
- Veća preciznost bila bi postignuta da smo bili u mogućnosti napraviti više od dvije serije mjerenja.

- **Literatura:**

- [1] Machlan L. A., Gramlich J. W., Powell L. J., Lambert G. M.: Absolute Atomic Abundance Ratio and Atomic Weight of a Reference Sample of Gallium, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Volume 91, Number 6 (1986)
- [2] Tuli J. K.: Nuclear Data Sheets for A = 68, 238, Nuclear Data Sheets Volume 97, Number 1 (2002), 0090 – 3752
- [3] Sahan M., Sahan H., Tel E.: Cross – Section Calculations of (n, 2n) and (n, p) Reactions for  $^{69,71}\text{Ga}$  and  $^{75}\text{As}$  Target Nuclei up to 20 MeV, Nucl. Phys. At. Energy 2018, volume 19, issue 4, pages 350-358
- [4] Solid State Physics Course by E. Kogan, (2018), Bar Ilan University, page 55