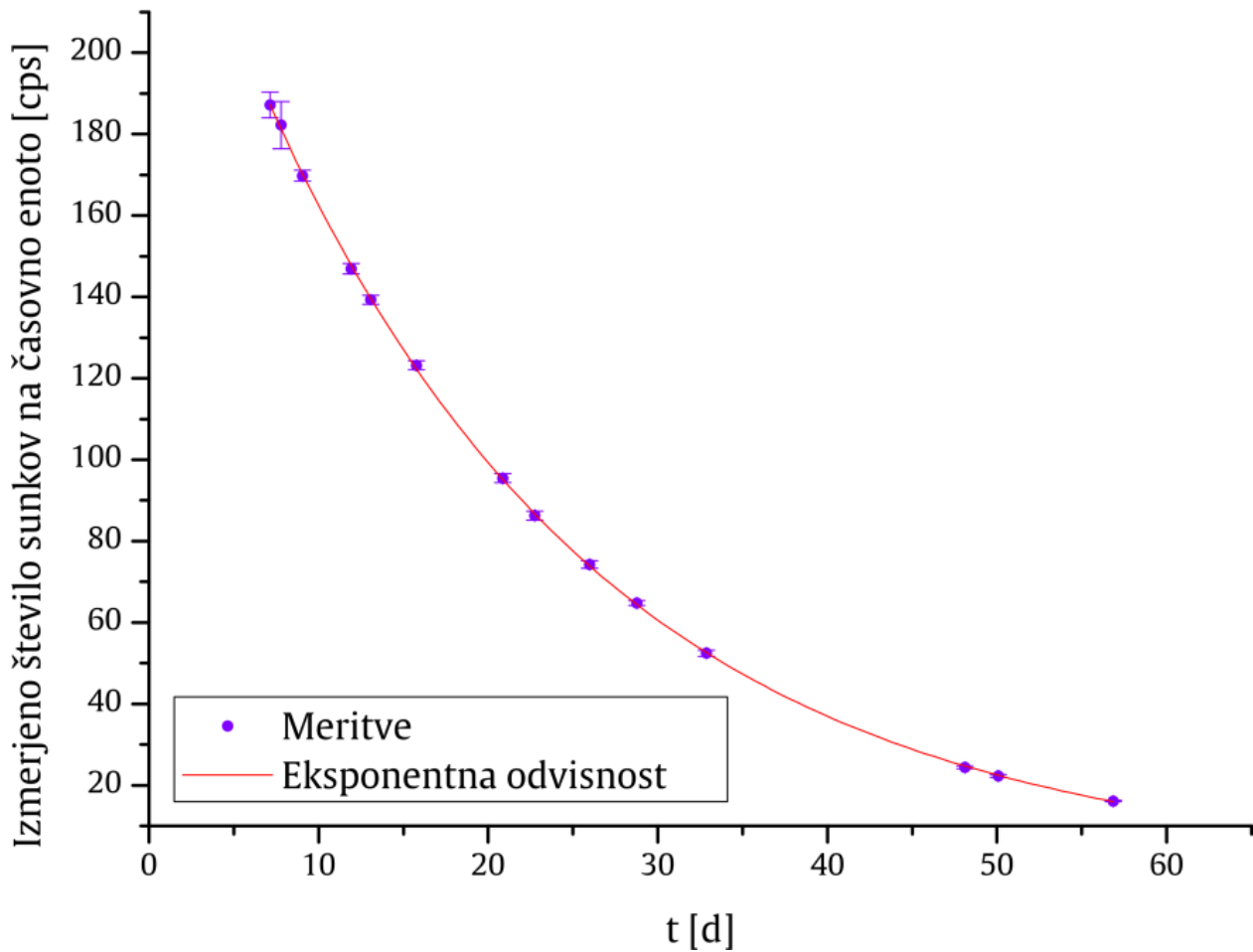


Matjaž Koželj

## RADIOAKTIVNI RAZPAD

### Radioaktivni razpad



Ljubljana, oktober 2013

revizija 0

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za matematiko in fiziko  
Jedrska tehnika  
Jedrska, reaktorska in radiološka fizika

Prejšnje izdaje:

1. izdaja: Eksperimentalne vaje, jedrska fizika, september 2006, avtor: *Matjaž Koželj*
2. izdaja: Eksperimentalne vaje, jedrska fizika, oktober 2012, avtor: *Matjaž Koželj*

Revizija: 0

1. izdaja, oktober 2013

Avtor: *Matjaž Koželj*

Shranjeno v datoteki: *3\_radioaktivni\_razpad.doc*  
zadnjič shranjen 24.10.2013 16:21:00

Tiskano: 24.10.2013 16:43:00

## KAZALO

1. Namen vaje.....	4
2. Teoretične osnove .....	4
3. Naloga.....	6
4. Oprema.....	7
5. Postopek meritve .....	8
6. Obdelava rezultatov .....	8
7. Rezultati meritev .....	10

## 1. Namen vaje

Namen vaje je eksperimentalno preveriti zakonitosti radioaktivnega razpada. Ob tem se bomo spoznali z Gegier-Müllerjevim števcem in demonstrirali pojav aktivacije z nevtroni.

## 2. Teoretične osnove

### a. Radioaktivni razpad

Nekatera atomska jedra razpadajo. Pri tem sevajo delce (alfa, beta, nevtrino) ali žarke gama. Za takšna jedra pravimo, da so radioaktivna, sam pojav pa imenujemo **radioaktivnost**. Snov, v kateri so radioaktivna jedra, seva, zato ji pravimo **radioaktivni izvor**. Količina sevanja, ki ga oddaja, je sorazmerna **aktivnosti izvora**, to je številu razpadov v časovni enoti. **Aktivnost** izražamo v enotah **Bq (becquerel)**. 1 Bq je enak **1 razpadu na sekundo ( $1 \text{ s}^{-1}$ )**. Aktivnost **Ac** je sorazmerna številu radioaktivnih jeder **N** v izvoru:

$$Ac = \lambda N \quad (1)$$

kjer je  **$\lambda$  razpadna konstanta**, ki predstavlja verjetnost za razpad posamičnega jedra v časovni enoti in ima za vsak radioaktiven izotop svojo karakteristično vrednost. Ker so jedra istega izotopa med seboj neodvisna in enaka, je število razpadov sorazmerno številu jeder in razpadni konstanti (in po definiciji enako aktivnosti):

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2)$$

Zaradi razpada se število radioaktivnih jeder v izvoru manjša. Iz definicije aktivnosti in enačbe (1) sledi naslednja enačba za **število (preostalih) radioaktivnih jeder** v izvoru:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

kjer je  **$N_0$  začetno število radioaktivnih jeder**. Iz enačb (1) in (2) dobimo

$$Ac = Ac_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

kjer je  **$Ac_0 = N_0 \lambda$  začetna aktivnost izvora**.

Zaradi lažje predstave je življenjska doba radioaktivnih jeder običajno podana z njihovim **razpolovnim časom  $T_{1/2}$** . To je čas, v katerem se število radioaktivnih jeder zmanjša na polovico začetne:

$$N(t = T_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \quad (5)$$

oziroma:

$$Ac(t = T_{1/2}) = \frac{Ac_0}{2} = Ac_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (6)$$

Z logaritmiranjem enačbe (5) dobimo

$$-\ln 2 + \ln Ac_0 = -\lambda T_{1/2} + \ln Ac_0 \quad (7)$$

Sledi:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (8)$$

Enačbo (6) lahko sedaj napišemo z uporabo razpolovnega časa:

$$Ac = Ac_0 e^{-\ln 2 \frac{t}{T_{1/2}}} \quad (9)$$

Ob upoštevanju definicije naravnega logaritma ( $e^{\ln 2} = 2$ ), dobimo nekoliko drugačno obliko enačbe (9), ki pa sledi direktno iz naše definicije razpolovnega časa:

$$Ac = Ac_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (10)$$

Povzemimo osnovne značilnosti radioaktivnega razpada:

- **Aktivnost** izvora se s časom zmanjšuje **eksponentno**.
- V **razpolovnem času** se aktivnost zmanjša na polovico začetne.
- Povezavo med **aktivnostjo** in **številom radioaktivnih jeder** v izvoru nam podaja **razpadna konstanta**, ki je obratno sorazmerna razpolovnem času. Sorazmernostni faktor je  $\ln 2$ .

## b. Aktivacija z nevtroni

**Aktivacija** je pojav, pri katerem snov obsevamo v polju (nevtralnih ali visokoenergijskih nabitih) delcev, tako da le-ta postane radioaktivna. Pravimo, da na ta način snov **aktiviramo**. Napogostejši primer je **nevtronska aktivacija**. Nevtroni so zaradi električne nevtralnosti relativno zelo prodorni, poleg tega pa (v nasprotju s fotoni) z jedri interagirajo tudi preko močne jedrske sile, kar poveča verjetnost za reakcijo. Najpogosteje opazujemo reakcijo **zajetja**, ki je pri nizkih energijah nevtronov najbolj verjetna (oz. pri nekaterih jedrih celo edina možna, če pozabimo na elastično sipanje, ki ne spremeni sestave jedra). Pri tem se masno število jedra poveča za 1, izseva pa se gama foton:

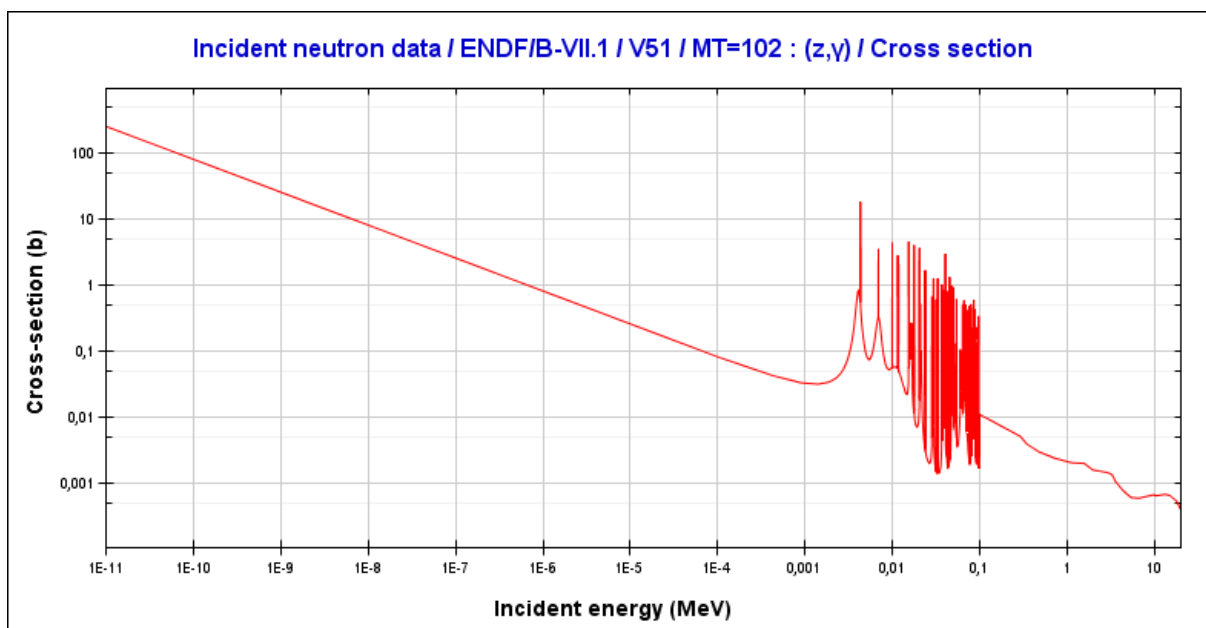


Jedro  ${}^{A+1}\text{X}$  imenujemo **aktivacijski produkt**. Število aktiviranih delcev (in posledično aktivnost aktiviranega materiala) sprva narašča linearno s časom (če se izvor ne spreminja), po dolgem času (precej daljšem od razpolovnega časa aktivacijskega produkta) pa se aktivnost približuje **saturacijski aktivnosti**, ki ustreza primeru, ko razpad aktivacijskega produkta ravno uravnovesi njegovo nastajanje v nevtronskem polju. Bilanco aktivacijskega produkta lahko opišemo z (aktivacijsko) enačbo:

$$\frac{dN}{dt} = R - \lambda N = N_0 \int \phi(E) \sigma(E) dE - \lambda N, \quad (12)$$

Kjer je  $R$  reakcijska hitrost nastajanja aktivacijskega produkta in je konstantna ob predpostavki, da se nevtronsko polje ne spreminja.  $N_0$  predstavlja število jeder začetnega izotopa ( ${}^A\text{X}$ ),  $\phi(E)$  je nevtronski spekter,  $\sigma(E)$  pa presek za reakcijo aktivacije (presek za reakcijo (14) je prikazan na sliki 2.1), ki je sorazmeren z verjetnostjo za reakcijo in je močno odvisen od energije nevtronov  $E$ . Rešitev enačbe (12) je:

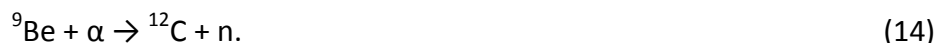
$$N(t) = \frac{R}{\lambda} (1 - \exp(-\lambda t)). \quad (13)$$



Slika 2.1: Presek za reakcijo zajetja nevtrona v jedru  ${}^{51}\text{V}$  v odvisnosti od energije vpadnega nevtrona. Tipično je verjetnost za reakcijo večja za počasnejše nevtrone.

### c. Nevtronski izvor Am-Be

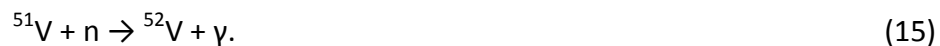
Nevtronski izvor americij-berilij deluje na posrednem principu. Jedra americija namreč razpadajo z  $\alpha$  razpadom, nastali  $\alpha$  delci pa se absorbirajo v jedrih berilija; pri tem poteka reakcija:



Nastali nevtroni imajo relativno visoko energijo, saj ima njihov spekter (relativno široka) vrhova pri okrog 4 MeV in 8 MeV. Ker je presek za aktivacijo večino materialov pri teh energijah relativno majhen, za upočasnjevanje nevtronov uporabimo **moderator**, v našem primeru je to parafin, ki vsebuje veliko vodika, pri trkih s katerimi nevtroni izgubljajo največ energije. Na ta način je nevtronski spekter v obsevanem vzorcu premaknjen k nižjim energijam, kar poveča verjetnost za reakcije in posledično tudi reakcijsko hitrost aktivacije  $R$ .

### 3. Naloga

Naša naloga bo na konkretnem primeru izotopa vanadija  $^{52}\text{V}$  izmeriti razpadno krivuljo in določiti razpadno konstanto oziroma razpolovni čas za  $^{52}\text{V}$ . Do izotopa bomo prišli tako, da bomo vzorec  $^{51}\text{V}$  za 15 min dali v bližino nevtronskega izvora. Pri tem bo prišlo do reakcije:



Ta proces imenujemo **nevtronska aktivacija**. Izotop  $^{52}\text{V}$ , ki nastane, je radioaktiven in ima takšen razpolovni čas, da je primeren za naše meritve. Obsevani vzorec bomo po obsevanju dali v GM števec in izmerili časovni potek aktivnosti vzorca. Izmerjene aktivnosti bomo korigirali z odštevanjem ozadja in logaritmirali. Tako bomo namesto eksponentne odvisnosti dobili linearno in iz naklona premice, ki jo bomo prilagodili izmerjenim vrednostim, določili razpadno konstanto. Meritev bomo še nekajkrat ponovili pri krajšem času aktivacije. Na ta način bomo preverili tudi veljavnost rešitve aktivacijske enačbe (13).

### 4. Oprema

- **GM števna cev v zaščitnem ohišju.** V ohišju je plastični tulec, v katerega vložimo vzorec (obsevani vanadij). Pred tem moramo GM cev izvleči iz ohišja, po vstavitvi tulca z vstavljenim vzorcem v ohišje pa GM cev vrnemo v ohišje.
- **Elektronski števec** (Model ST360 Radiation Counter, slika 4.1), ki šteje pulze v določenem času. V števec je vgrajen tudi visokonapetostni napajalnik za GM cev. Po vklopu števca moramo nastaviti parametre: visoko napetost in čas štetja. Izbiro načina prikaza ter nastavitve parametrov opravimo s tipko »DISPLAY SELECT«, pri čemer gre zaslon skozi naslednje načine prikaza (gori ustrezna oznaka na desnem robu): COUNTS (normalen način, ki prikazuje število sunkov od začetka štetja), TIME (čas štetja, nastavimo ga s tipkama UP in DOWN), RATE (pogostost sunkov na sekundo, ta način ne bomo uporabljali), HIGH VOLTAGE (visoka napetost, ki jo nastavimo s tipkama UP in DOWN), ALARM POINT (alarmna vrednost, ta način ne bomo uporabljali) in nastavitve glasnosti zvočnika (gorijo lučke na levi strani, jakost nastavljamo s tipkama UP in DOWN). Ko nastavimo čas štetja (TIME) in visoko napetost (HIGH VOLTAGE), postavimo zaslon v način COUNTS in zaženemo štetje s tipko COUNT. Po nastavljenem času bo števec nehal šteti (ugasne se lučka na tipki COUNT) in se prižge lučka na tipki STOP. Ponovno štetje zaženemo tako, da pritisnemo tipko COUNT. Štetje lahko kadarkoli prekinemo s tipko STOP in števec resetiramo s tipko RESET.
- **Vzorec  $^{51}\text{V}$**  je folija premera približno 3 cm (2 vzorca)

- Štoparica, pinceta, rokavice.



Slika 4.1: ST360 Radiation Counter

## 5. Postopek meritve

Demonstrator bo vzorce vanadija dal obsevati v bližino Am-Be izvora. **Ob začetku obsevanja sproži štoparico in jo ne ustavlja do konca meritve.**

Med tem, ko se vzorec obseva, vklopi in nastavi GM števni sistem. Čas štetja naj bo **50 s**, visoka napetost pa **340 V**. **Napetost je treba znižati vedno, kadar prestavljamo GM števno cev.**

Po približno eni minuti začni z **meritvijo ozadja**. Pritisni na tipko COUNT in meritev ponovi še štirikrat, rezultate pa zabeleži v tabelo. Pred vstavitvijo vzorca znižaj napetost na GM cevi.

Po 15 min obsevanja bo demonstrator prekinil obsevanje vanadija in ga vložil v plastični tulec in vse skupaj vložil v ohišje. Nastavi napetost na GM cevi (340 V), meritev pa ponovno sproži ko bo štoparica kazala 17 minut. Ta meritev se bo iztekla po 50 s, potem imaš 10 s časa da rezultat vpišeš v tabelo. Meritev ponovno sproži, ko bo štoparica na 18 min, rezultat pa zabeležiš po 50 s.

Z meritvijo (50 s štetje, 10 s premora za vpis rezultata) nadaljuješ tako dolgo, da bodo izmerjene vrednosti približno 2-3 krat nad ozadjem.

Meritev potem še vsaj enkrat ponovimo s krajšim časom aktivacije.

Na koncu meritev ponovimo še brez polietilenskega moderatorja. Na ta način spremenimo nevtronski spekter.

## 6. Obdelava rezultatov

Od izmerjenih vrednosti za vanadij odštej ozadje (povprečje meritev ozadja). Tako korigirane vrednosti nam bodo služile za določitev razpadne konstante.

Če smo natančni, so te vrednosti samo sorazmerne z aktivnostjo (sorazmernostni faktor je odvisen od geometrije naše merilne naprave in karakteristik GM cevi), vendar ker nas v



bistvu zanima le časovni potek in ker se sorazmernostni faktor med meritvijo ne spreminja, lahko govorimo o aktivnosti izvora in je časovni potek naših meritev enak časovnem poteku aktivnosti izvora. Zato lahko uporabimo enačbo (4) in jo logaritmujemo. Dobimo:

$$\ln A_c = \ln A_{c_0} - \lambda t \quad (16)$$

Zgornja enačba je enačba premice z naklonskim koeficientom  $-\lambda$ . Iz naklonskega kota lahko izračunamo razpadno konstanto:

$$\lambda = - \frac{\Delta \ln A_c}{\Delta t} \quad (17)$$

Naklonski koeficient premice določi po metodi najmanjših kvadratov. Razpolovni čas  $T_{1/2}$  določi iz enačbe (8). Iz fitane premice določi tudi začetno aktivnost  $A_{c_0}$ .

Iz primerjave razmerij začetnih aktivnosti  $A_{c_0}$  pri meritvah z različnim časom aktivacije z nevtronskim izvorom preveri veljavnost enačbe (13) in razpadne konstante  $\lambda$ .

Izpelji popravek izmerjene aktivnosti zaradi končnega časa meritve, med katerim se aktivnost merjenega vzorca spreminja. Pod katerimi pogoji je popravek konstanten faktor za vse meritve?

## 7. Rezultati meritev

Datum: \_\_\_\_\_

Nastavitev GM cevi: \_\_\_\_\_ V

Meritve ozadja

	$t_{\text{št}}$ (s)	$N_p$ (št. pulzov)	$A_c$ ( $s^{-1}$ ) (= $N_p/t_{\text{št}}$ )
1	50		
2	50		
3	50		
4	50		
5	50		

Ozadje:  $A_{C_{O_2}} =$  \_\_\_\_\_  $s^{-1}$

Začetek obsevanja vanadijeve folije v Am-Be izvoru:

\_\_\_\_\_ (t = 0 min 0s)

Čas obsevanja vanadijeve folije: t = \_\_\_\_\_ min \_\_\_\_\_ s

Meritve aktivnosti vanadijeve folije (obsevanje 15 min):

	t	t <sub>št</sub> (s)	N <sub>p</sub> (št. pulzov)	Ac (s <sup>-1</sup> ) (= N <sub>p</sub> /t <sub>št</sub> )	Ac <sub>kor</sub> (s <sup>-1</sup> ) (= Ac - Ac <sub>oz</sub> )
1		50 s			
2		50 s			
3		50 s			
4		50 s			
5		50 s			
6		50 s			
7		50 s			
8		50 s			
9		50 s			
10		50 s			
11		50 s			
12		50 s			
13		50 s			
14		50 s			
15		50 s			
16		50 s			
17		50 s			
18		50 s			
19		50 s			
20		50 s			
21		50 s			
22		50 s			
23		50 s			
24		50 s			
25		50 s			

Graf odvisnosti Ac<sub>kor</sub> od časa t je na priloženem pollogaritmskem papirju. Iz premice je po enačbi (12) določena **razpadna konstanta λ za <sup>52</sup>V**:

$$\lambda = - \frac{\ln \frac{A c_2}{A c_1}}{t_2 - t_1} =$$

Iz enačbe (7) **razpolovni čas T<sub>1/2</sub> za <sup>52</sup>V**:

$$T_{1/2} =$$

Meritve aktivnosti vanadijeve folije (obsevanje < 15 min):

	t	t <sub>št</sub> (s)	N <sub>p</sub> (št. pulzov)	Ac (s <sup>-1</sup> ) (= N <sub>p</sub> /t <sub>št</sub> )	Ac <sub>kor</sub> (s <sup>-1</sup> ) (= Ac - Ac <sub>oz</sub> )
1		50 s			
2		50 s			
3		50 s			
4		50 s			
5		50 s			
6		50 s			
7		50 s			
8		50 s			
9		50 s			
10		50 s			
11		50 s			
12		50 s			
13		50 s			
14		50 s			
15		50 s			
16		50 s			
17		50 s			
18		50 s			
19		50 s			
20		50 s			
21		50 s			
22		50 s			
23		50 s			
24		50 s			
25		50 s			

Iz premice je po enačbi (12) določena **razpadna konstanta λ** za <sup>52</sup>V:

$$\lambda = - \frac{\ln \frac{A c_2}{A c_1}}{t_2 - t_1} =$$

Iz enačbe (7) **razpolovni čas T<sub>1/2</sub>** za <sup>52</sup>V:

$$T_{1/2} =$$

Meritve aktivnosti vanadijeve folije (obsevanje  $\sim T_{1/2}$ ):

	<b>t</b>	<b>t<sub>št</sub> (s)</b>	<b>N<sub>p</sub> (št. pulzov)</b>	<b>Ac (s<sup>-1</sup>) (= N<sub>p</sub>/t<sub>št</sub>)</b>	<b>Ac<sub>kor</sub> (s<sup>-1</sup>) (= Ac - Ac<sub>oz</sub>)</b>
<b>1</b>		<b>50 s</b>			
<b>2</b>		<b>50 s</b>			
<b>3</b>		<b>50 s</b>			
<b>4</b>		<b>50 s</b>			
<b>5</b>		<b>50 s</b>			
<b>6</b>		<b>50 s</b>			
<b>7</b>		<b>50 s</b>			
<b>8</b>		<b>50 s</b>			
<b>9</b>		<b>50 s</b>			
<b>10</b>		<b>50 s</b>			
<b>11</b>		<b>50 s</b>			
<b>12</b>		<b>50 s</b>			
<b>13</b>		<b>50 s</b>			

Meritve aktivnosti vanadijeve folije (obsevanje  $< T_{1/2}$ ):

	<b>t</b>	<b>t<sub>št</sub> (s)</b>	<b>N<sub>p</sub> (št. pulzov)</b>	<b>Ac (s<sup>-1</sup>) (= N<sub>p</sub>/t<sub>št</sub>)</b>	<b>Ac<sub>kor</sub> (s<sup>-1</sup>) (= Ac - Ac<sub>oz</sub>)</b>
<b>1</b>		<b>50 s</b>			
<b>2</b>		<b>50 s</b>			
<b>3</b>		<b>50 s</b>			
<b>4</b>		<b>50 s</b>			
<b>5</b>		<b>50 s</b>			
<b>6</b>		<b>50 s</b>			
<b>7</b>		<b>50 s</b>			
<b>8</b>		<b>50 s</b>			
<b>9</b>		<b>50 s</b>			
<b>10</b>		<b>50 s</b>			