



## POREĐENJE FUNKCIJA ODGOVORA CR-39 DETEKTORA ZA DETEKCIJU ALFA ZRAČENJA

Jelena M. STAJIĆ<sup>1</sup>, Biljana MILENKOVIĆ<sup>1</sup>, Nenad STEVANOVIĆ<sup>2</sup>, Vladimir M. MARKOVIĆ<sup>2</sup>,  
Dragoslav NIKEZIĆ<sup>2,3</sup>

1) Univerzitet u Kragujevcu, Institut za Informacione Tehnologije, Kragujevac, Srbija

2) Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, Srbija

3) Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar, Srbija

stajicjelena11052012@gmail.com



### Sadržaj

U radu je prikazano poređenje  $V$  funkcija koje se u literaturi najčešće koriste pri analizi detekcije alfa zračenja pomoću CR-39 detektora. Ranije razvijen program TRACK.VISION2.1, koji omogućava vizuelizaciju tragova u čvrstim trag detektorima, upotrebljen je za procenu kritičnog ugla detekcije alfa čestica. Varirani su uglovi i upadne energije čestica i predviđana je mogućnost njihove detekcije, na osnovu postavljenog kriterijuma vidljivosti. Rezultati su prikazani za pet odabranih  $V$  funkcija i diskutovano je njihovo međusobno slaganje. Dati su parametri fitovanja funkcije kritičnog ugla u zavisnosti od upadne energije za nedavno publikovanu  $V$  funkciju. Nova funkcija je ugrađena i u program za proračun kalibracionog koeficijenta CR-39 detektora u radonskoj difuzionoj komori. Izdvojene su  $V$  funkcije koje daju najbolje i najlošije slaganje rezultata teorijskih proračuna sa eksperimentalnim zapažanjima. Nova funkcija predviđa niže vrednosti kalibracionog koeficijenta u poređenju sa rezultatima dobijenim na osnovu eksperimentalnog ozračivanja CR-39 detektora u radonskoj difuzionoj komori, pri poznatoj koncentraciji radona.

### 1. Uvod

Čvrsti trag detektori (eng. Solid State Nuclear Track Detectors - SSNTD) nalaze široku primenu u različitim oblastima nauke i tehnologije, a prvenstveno u oblasti monitoringa i zaštite od zračenja. Jedan od najvažnijih parametara u teorijskom modelovanju mehanizma formiranja tragova u čvrstim trag detektorima je  $V$  funkcija [1] koja je u literaturi poznata i još kao funkcija osetljivosti ili funkcija odgovora detektora. Ova funkcija predstavlja odnos brzine nagrizanja detektora duž traga ( $V_t$ ) i brzine nagrizanja neoštećene površine detektora ( $V_b$ ), a uslov za formiranje vidljivih tragova je da je njena vrednost veća od 1. Brzine  $V_b$  i  $V_t$  zavise od uslova nagrizanja tj. od temperature, koncentracije i vrste rastvora, a brzina  $V_t$  zavisi još i od mase, naelektrisanja i energije čestice koja je napravila oštećenja duž svoje putanje u materijalu detektora.

U radu je prikazano poređenje nekoliko  $V$  funkcija koje su dostupne u literaturi, a koje se najčešće koriste pri teorijskoj analizi razvoja tragova alfa čestica u CR-39 detektorima. Odabrano je pet  $V$  funkcija koje su primenjene za teorijsku procenu kritičnog ugla detekcije i kalibracionog koeficijenta detektora postavljenog na dnu radonske difuzione komore, a rezultati su upoređeni sa eksperimentalno dobijenim vrednostima.

### 2. Metod

Funkcije kritičnih uglova detekcije alfa čestica CR-39 detektorima su dobijene korišćenjem programa TRACK\_VISION2.1 [2]. Upadni uglovi alfa čestica su varirani sa korakom od  $1^\circ$ , dok su energije varirane u intervalu od 0.5 do 8 MeV, sa korakom od 0.5 MeV. Tragovi čiji su dijametri i dubine veći od  $1 \mu\text{m}$  smatrani su vidljivim. Teorijska procena kalibracionog koeficijenta je izvršena korišćenjem programa CR39\_Sensitivity napisanog u Fortran90 programskom jeziku [3]. Programi nude mogućnost odabira jedne od pet  $V$  funkcija izraženih preko rezidualnog dometa  $R'$  ( $\mu\text{m}$ ):

$$V_1 = 1 + (11.45e^{-0.339 \cdot R'} + 4e^{-0.044 \cdot R'}) (1 - e^{-0.58 \cdot R'}) \quad [4]$$

$$V_2 = 1 + e^{-0.1 \cdot R'/1} - e^{-1 \cdot R'/1.27} + e^{1.27} - e^1 \quad [5]$$

$$V_3 = 1 + e^{-0.06082 \cdot R'/1.119} - e^{-0.8055 \cdot R'/1.119} \quad [6]$$

$$V_4 = 1 + e^{-0.098 \cdot R'/1.86 - 37.78/R' + 36.98/R'^{0.98}} \quad [7]$$

$$V_5 = 1 + \frac{390}{(R'+2)^{2.35}} \ln(R'+1) (1 - e^{-R'/5}) + \frac{R'}{80} \quad [8]$$

Eksperimentalno određivanje kalibracionog koeficijenta: konusna radonska difuziona komora sa CR-39 detektorom je izložena radonu srednje koncentracije od oko  $3400 \text{ Bq m}^{-3}$  (koncentracija je merena urađajem RAD7); detektor je podvrgnut hemijskom nagrizanju u rastvoru NaOH koncentracije  $6.25 \text{ N}$ , na temperaturi od  $70^\circ \text{C}$ , tokom 5 h.

### Literatura

- [1] D. Nikezic, D. Kostic. Simulation of the track growth and determining the track parameters. Radiat. Meas. 28, 1997, 185–190.
- [2] D. Nikezic, J.M. Stajic, K.N. Yu. Updates to TRACK\_TEST and TRACK\_VISION Computer Programs. Polymers 13, 2021, 560.
- [3] D. Nikezic, K.N. Yu, J.M. Stajic. Computer program for the sensitivity calculation of a CR-39 detector in a diffusion chamber for radon measurements. Rev. Sci. Instrum. 85, 2014, 022102.
- [4] P.G. Green, A.G. Ramli, A.R. Al-Najjar, F. Abu-Jarad, S.A. Durrani. A study of bulk etch rates and track-etch rates in CR-39. Nucl. Instrum. Methods 203, 1982, 551–559.
- [5] C. Brun, M. Fromm, M. Jouffroy, P. Meyer, J.E. Groetz, F. Abel, et al. Intercomparative study of the detection characteristics of the CR-39 SSNTD for light ions: Present status of the Besancon—Dresden approaches. Radiat. Meas. 31, 1999, 89–98.
- [6] K.N. Yu, F.M.F. Ng, D. Nikezic, Measuring depths of sub-micron tracks in a CR-39 detector from replicas using atomic force microscopy. Radiat. Meas. 40, 2005, 380–383.
- [7] M.A. Al-Jubbori. V-function to investigate tracks of the alpha particle irradiated CR-39 detector. Radiat. Meas. 136, 2020, 106388.
- [8] D. Hermsdorf. Evaluation of the sensitivity function  $V$  for registration of  $\alpha$ -particles in PADC CR-39 solid state nuclear track detector material. Radiat. Meas. 44, 2009, 283–288.
- [9] M. Calamosca, S. Penzo, G. Gualdrini. Experimental determination of CR-39 counting efficiency to  $\alpha$  particles to design the holder of a new radon gas dosimeter. Radiat. Meas. 36, 2003, 217–219.

### 3. Rezultati

Na Slici 1 prikazani su kritični uglovi detekcije  $\theta_c$  (u odnosu na normalu na površinu detektora) dobijeni primenom prethodno navedenih  $V$  funkcija. Funkcija  $\theta_{C4}$ , dobijena na osnovu nove funkcije  $V_4$ , naglo opada za energije iznad 4 MeV pa već čestice sa energijama iznad 6 MeV ne zadovoljavaju postavljeni kriterijum vidljivosti čak ni pri ortogonalnom upadu na površinu detektora.

Slika 1. Kritični uglovi detekcije dobijeni korišćenjem TRACK\_VISION2.1 softvera i odgovarajućih  $V$ -funkcija ( $V_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ); puna linija predstavlja funkciju koju su eksperimentalno dobili Calamosca i saradnici [9].

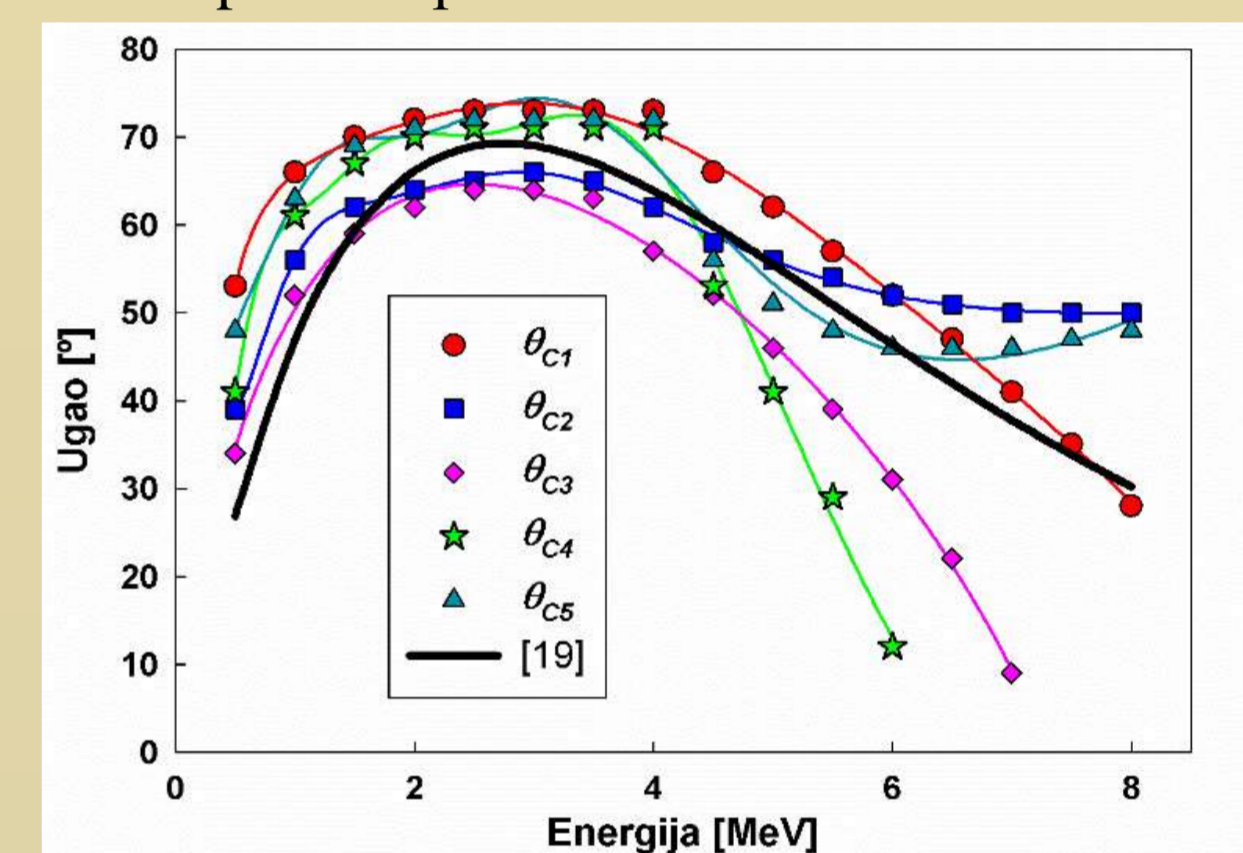


Tabela 1. Parametri fitovanja za funkciju  $\theta_{C4}$ .

	1	2	3	4	5
a	1088.744	-0.1662	1268.9729	6.6735	-0.5975
b	9.1507	3.5065	2.6523	7.5144	-86.9132
c	4.8754	0.3041	3.1961	2.0088	317.998

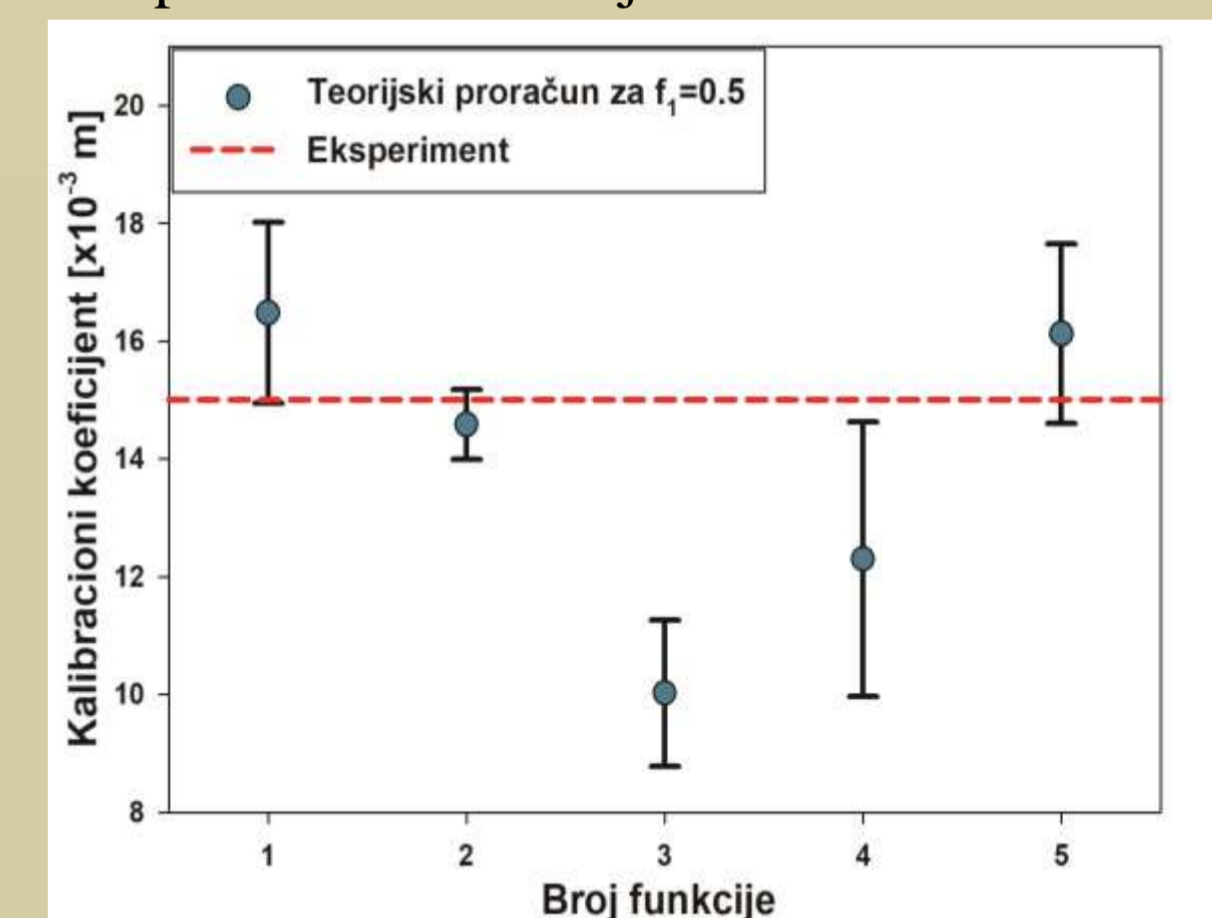
Funkcija  $\theta_{C4}$ :

$$\theta_{C4}(E) = \sum_{i=1}^5 a_i \cdot E^{b_i} \cdot e^{-c_i E}$$

Parametri fitovanja su dati u Tabeli 1.

Na Slici 2 su predstavljeni kalibracioni koeficijenti dobijeni pomoću programa CR39\_Sensitivity korišćenjem pet  $V$  funkcija. Za svaku  $V$  funkciju je prikazan opseg u zavisnosti od zapreminske frakcije kratkoživećeg radonovog potomka  $^{218}\text{Po}$  ( $f_1$ ). Istraživanja su pokazala da je  $f_1 < 0.5$ , pa se može zaključiti da funkcije  $V_1$  i  $V_5$  daju najbolje slaganje teorije i eksperimenta. Nova funkcija  $V_4$  daje rezultate koji su znatno niži od eksperimentalno dobijene vrednosti.

Slika 3. Kalibracioni koeficijent CR-39 detektora dobijen teorijski za različite oblike  $V$  funkcija (kružni simboli:  $f_1=0.5$ ; donje granice opsega:  $f_1=0$ ; gornje granice opsega:  $f_1=1$ ) i eksperimentalno dobijena vrednost (isprekidana crvena linija).



### 4. Zaključak

Na osnovu poređenja teorijskog i eksperimentalnog proračuna, funkcije  $V_1$  i  $V_5$  dalje daju najbolje rezultate. Nova funkcija  $V_4$  teorijski predviđa vrednosti koje su niže od eksperimentalnih.

**ZAHVALNICA:** Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (ugovori: 451-03-9/2021-14/200378 i 451-03-9/2021-14/200122).