

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

## DIFRAKCIONA SLIKA TRAGOVA U TRAG DETEKTORIMA

**Nenad STEVANOVIĆ, Vladimir M. MARKOVIĆ, Dragoslav NIKEZIĆ**

*Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno matematički fakultet, R. Domanovica 12, 34000*

*Kragujevac, Srbija, [nstevanovic@kg.ac.rs](mailto:nstevanovic@kg.ac.rs), [vmarkovic@kg.ac.rs](mailto:vmarkovic@kg.ac.rs), [nikezic@kg.ac.rs](mailto:nikezic@kg.ac.rs)*

### SADRŽAJ

*U ovom radu razvijen je model i programski kod za formiranje difraktivne slike svetlosti, koja prolazi kroz tragove u čvrstim trag detektorima. Prostiranje svetlostnog talasa, koji prolazi kroz trag, modelovan je na osnovu Hajgens-Frenolovog principa. Napisan je programski kod da se ispita promena difraktivne slike svetlosti u zavisnosti od promene parametara traga. Cilj rada je da se na osnovu difraktivne slike traga odrede parametri traga čestice u trag detektorima.*

### 1. UVOD

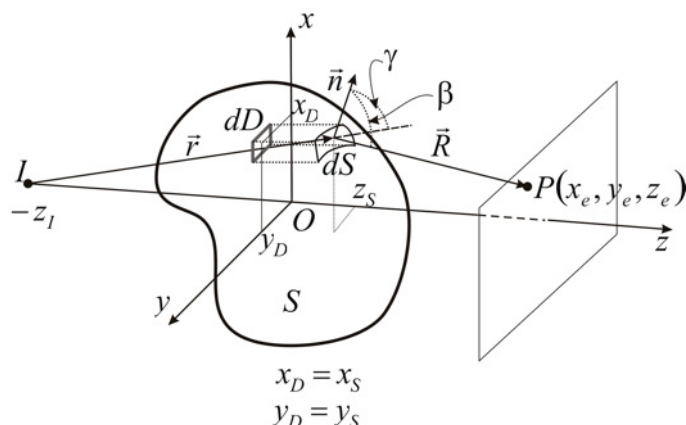
Trag detektori se koriste za detekciju radona/torona i njihovih potomaka, koji su alfa emiteri. Alfa čestice, prolaskom kroz detektor, formiraju latentne tragove, koji se, nakon nagrizanja detektora, mogu posmatrati optičkim mikroskopom. Oblik formiranih tragova zavisi od energije alfa čestica, upadnog ugla, uslova nagriznja i drugih parametara [1]. Slika formiranog traga pod mikroskopom, pored oblika traga, zavisi od načina fokusiranja mikroskopa i talasne dužine svetlosti kojom se posmatra trag. S obzirom da su tragovi dimenzije nekoliko mikrometara, lik traga obuhvataju naizmenično raspoređene svetle i tamne oblasti (difraktivna slika). U ovom radu je predstavljen model formiranja difraktivne slike svetlosti, koja prolazi kroz trag prozvoljnog oblika, na osnovu Hajgens –Frenolovog principa. Napisan je programski kod kojim se određuje raspodela intenziteta svetlosti koja prolazi kroz trag. Na osnovu toga predstavljena je zavisnost parametara difraktivne slike od parametara traga. Cilj rada je da se ispita mogućnost određivanja oblika i parametara traga na osnovu oblika formirane difraktivne slike optičkim mikroskopom, što može da unapredi metode detekcije.

### 2. METODOLOGIJA

Svetlost talasne dužine  $\lambda$  se emituje sa tačkastog izvora  $I$ , dopire do površi  $S$  i na ekranu  $E$  se posmatra difraktivna slika. Njihova geometrija, u koordinatnom sistemu  $Oxyz$  je prikazana na sl. 1. Izvor je pozicioniran na  $z$ -osi, na rastojanju  $z_I$  od površi  $S$  i ima koordinate  $(0,0,-z_I)$ . Ekran je ravan normalna na  $z$  osuna rastojanju  $z_e$  od  $xOy$  ravni. Segment prepreke  $dS$  ima koordinate  $(x_s, y_s, z_s)$  i definisan je vektorom normale  $\vec{n}$ . U odnosu na izvor,  $I$ , segment površi  $dS$  je definisan vektorom  $\vec{r}$ . Tačka  $P$  na ekranu, do koje dopire svetlost, ima koordinate  $P(x_e, y_e, z_e)$  i definisana je vektorom  $\vec{R}$  u odnosu na segment  $dS$ .

Jačina električnog polja svetlosti koja dopire do tačke  $P$  definisana je sledećim izrazom [2, 3]:

$$E_p = \iint_S -\frac{i}{\lambda} \frac{1}{rR} a(\beta, \gamma) E e^{i(\omega t - \vec{k}\vec{r} - \vec{k}\vec{R})} ds. \quad (1)$$



Slika 1. Geometrija difrakcije svetlosti na proizvoljnoj površi

koji se naziva Fresnel-Kirchhoff integral, gde je  $a(\beta, \gamma) = 0.5(\cos\gamma + \cos\beta)$  inklinacioni faktor. Intenzitet svetlosti u tački P se može odrediti kao

$$I = |E_p|^2 \quad (2)$$

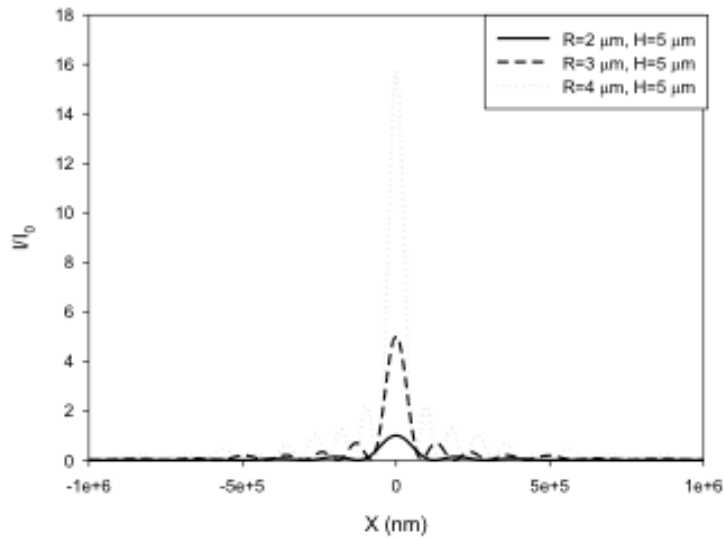
Analitički izraz za jacinu električnog polja na ekranu je moguće dobiti samo za specifične slučajeve [4-7]. U ovom radu, jačina električnog polja i intenzitet svetlosti su računati numerički [8, 9], gde se mogu videti detalji racunanja, a ovde su prikazani samo osnovni koraci.

Zadaju se parametri traga (konusa): radijus,  $R$ , dužina,  $L$ , rastojanje osnove konusa do ekrana  $z_e$ ; koordinate tačke P na ekranu; talasna dužina svetlosti,  $\lambda$ . Krug radijusa  $R$  se podeli na segmente površi  $dD = \rho d\rho d\varphi$ , gde je  $\rho$  rastojanje segmenta od centra kruga, a  $\varphi$  je polarni ugao. Odabrano je da  $d\rho = 0.01 \cdot R$ , a  $d\varphi = 0.01 \cdot 2 \cdot \pi$ . Koordinate segmenta su  $(x_D = \rho \cdot \cos\varphi, y_D = \rho \cdot \sin\varphi)$ . Na osnovu jednačine konusa, mogu se odrediti koordinate i veličina segmenta  $dS$  koji pripada površi konusa. Nakon toga vector normale tog segmenta i inklinacioni factor. Fazni pomeraj talasnog fronta od

izvora I, preko segmenta  $dS$  do tačke P na ekranu je  $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_p \cdot r + n_s \cdot R)$ , gde su  $n_p$  i  $n_s$  indeksi prelamanja sredine pre i nakon konusnog traga.

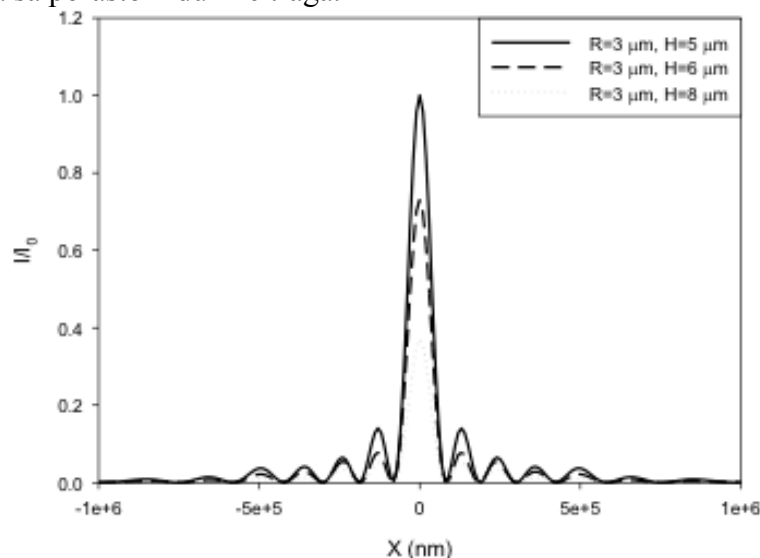
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom radu smatrano je da su tragovi, nastali nakon nagrizanja detektora, pravi konusi. Konusi su radijusa  $R$  i visine  $H$ , čija je osa konusa normalna na površ detektora. Talasna dužina svetlosti je  $\lambda = 633 \text{ nm}$ . Indeks prelamanja detektora je  $n_d = 1.5$ . Na slici 2, prikazana je raspodela intenziteta svetlosti koja prolazi kroz trag oblika konusa visine  $H = 5 \text{ }\mu\text{m}$ , za različite radijuse. Može se zaključiti da sa porastom radijusa traga, intenzitet svetlosti difrakcione slike raste. Razlog za to je što pri nižim vrednostima radijusa traga, dolazi do totalne refleksije na površini traga (omotaču konusa). Pored toga, sa grafika se vidi da broj perifernih maksimuma raste sa porastom radijusa traga. Širina centralnog maksimuma opada sa porastom radijusa traga.



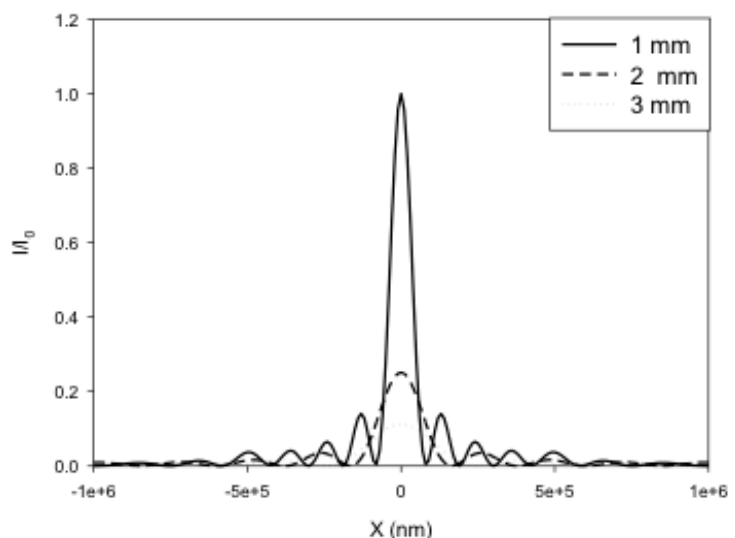
**Slika 2. Raspedela intenziteta svetlosti nakon prolaska kroz trag oblika konusa visine  $H=5 \mu\text{m}$ , za različite vrednosti radijusa**

Na slici 3 prikazana je raspodela intenziteta svetlosti koja prolazi kroz trag oblika konusa radijusa  $R=3 \mu\text{m}$  za različite vrednosti dužine traga. Osa traga je normalna na površ detektora. Sa grafika sa vidi da intenzitet svetlosti opada sa porastom dužine traga, dok se broj perifernih maksimuma ne menja. Širina centralnog maksimuma ostaje nepromenjena sa porastom dužine traga.



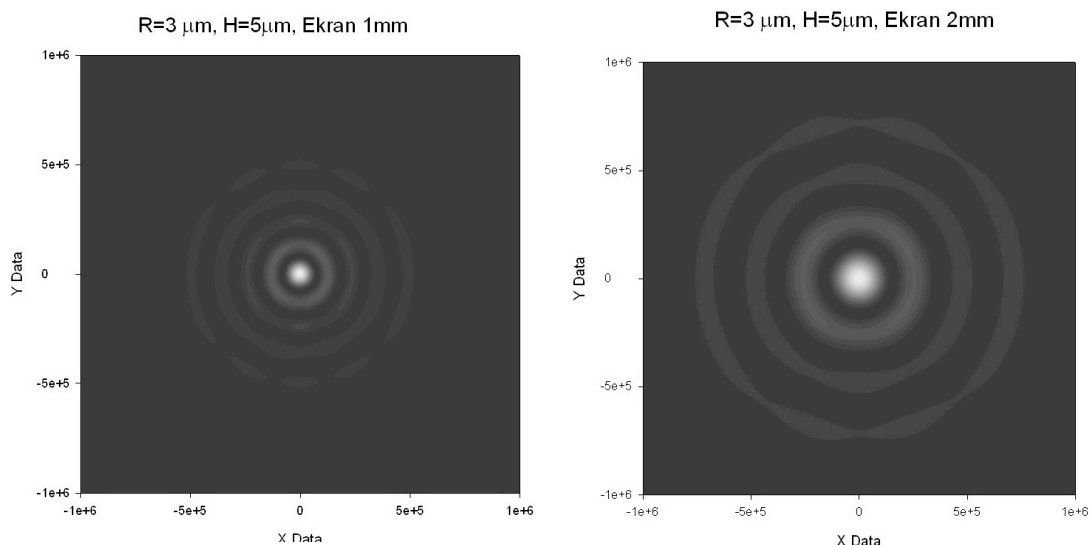
**Slika 3. Raspedela intenziteta svetlosti nakon prolaska kroz trag oblika konusa radijusa  $R=3 \mu\text{m}$ , za različite vrednosti visine traga**

Na slici 4 prikazana je raspodela intenziteta svetlosti koja prolazi kroz trag oblika konusa radijusa  $R=3 \mu\text{m}$  i visine  $H=5 \mu\text{m}$  za različite vrednosti rastojanja ravni posmatranja (žižne ravni) od površi detektora. Sa grafika sa vidi da intenzitet svetlosti opada sa porastom rastojanja žižne ravni od površi detektora. Širina centralnog maksimuma raste i lokalni maksimumi iščezavaju.



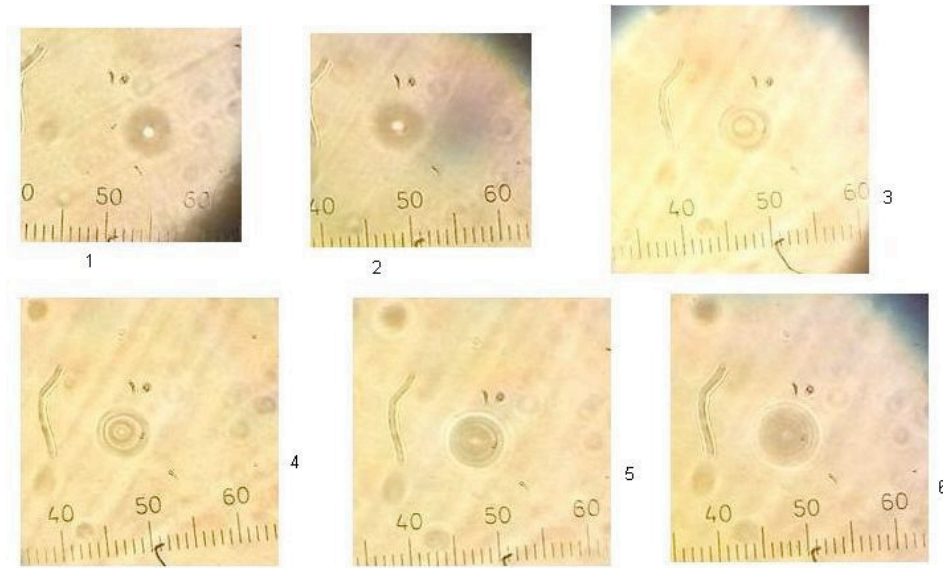
**Slika 4. Raspedela intenziteta svetlosti nakon prolaska kroz trag oblika konusa radijusa  $R=3 \mu\text{m}$  i visine  $R=5 \mu\text{m}$ , za različite vrednosti rastojanja ravni posmatranja od površi detektora**

Na sledećoj slici date su dvodimenzionalne difrakcione slike traga  $R=3 \mu\text{m}$  i visine  $R=5 \mu\text{m}$  dobijene simulacijom, kao rezultat razvijenog programskog koda. Difrakcione slike su prikazane za različita rastojanja ravni fokusiranja, 1 mm i 2 mm, od površi detektora.



**Slika 5. Difrakciona slika svetlosti nakon prolaska kroz trag oblika konusa radijusa  $R=3 \mu\text{m}$  i visine  $R=5 \mu\text{m}$ , za različite vrednosti rastojanja ravni posmatranja od površi detektora**

Na slici 6 prikazan je trag posmatran optičkim mikroskopom, za različita rastojanja ravni fokusiranja od površi detektora. Rastojanje ravni fokusiranja raste sa oznacnim rednim brojem difrakcione slike. Može se zaključiti da se veličina lika menja sa promenom položaja ravni fokusiranja, da se menja i raspored difrakcionih maksimuma i minimuma, kao i intenzitet svetlosti centralnog maksimuma.



**Slika 6. Difrakciona slika traga pod optičkim mikroskopom**

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je model i razvijen je program za kreiranje difrakcione slike svetlosti koja prolazi kroz nagrizane tragove u trag detektoru oblika pravog konusa. Model je razvijen na osnovu Hajgens-Frenelovog principa prostiranja svetlosti. Nađena je zavisnost promene difrakcione slike u zavisnosti od parametara traga. Model prikazan u ovom radu je dobra osnova za proučavanje difrakcione slike svetlosti tragova u trag detektorima u cilju nalaženja korelacije između parametara traga i difrakcione slike.

#### 5. ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, pod projektom ON 171021.

#### 6. LITERATURA:

- [1] D. Nikezic, K.N. Yu, Formation and growth of tracks in nuclear track materials, Math. Sci. Eng. R46, 2004, 51.
- [2] D. M. Nikolić. Eksperimenti sa difrakcijom svetlosti i njihov značaj za nastavu fizike. Doktorska disertacija, Prirodno–matematički fakultet, Niš, 2013.
- [3] K. G. Makris, D. Psaltis. Huygens–Fresnel diffraction and evanescent waves. Optics Communications 284, 2011, 1686–1689.
- [4] Y. Cui, W. Zhang, J. Wang, M. Zhang, S Teng. Fresnel diffraction of aperture with rough edge. Journal of Optics 17, 2015, 065607.
- [5] K. M Abedin, S.M. M Rahman. The iterative Fresnel integrals method for Fresnel diffraction from tilted rectangular apertures: Theory and simulations. Optics & Laser Technology 44, 2012, 939–947.
- [6] A. Belafhal, L. Dalil-Essakali, M. Fahad. Fraunhofer diffraction by conical tracks. Optics Communications 175, 2000, 51–55.



- [7] M. Ibnchaikh, K. Nassim, A. Belafhal. Theoretical study of Fraunhofer diffraction by hemispherical tracks. Phys. Chem. News 4, 2001, 15-18
- [8] N. Stevanovic, V.M. Markovic, D. Nikezic New method for determination of diffraction light pattern od arbitrary surfaces. Optics & Laser Technology. 90, 2017, 90-95.
- [9] N. Stevanovic, V.M. Markovic. Diffraction pattern by rotated conical tracks in solid state nuclear track detectors Optics & Laser Technology 80, 2016, 204-208.

## **DIFFRACTION PATTERN OF THE LIGHT ON TRACK IN TRACK DETECTORS**

**Nenad STEVANOVIĆ, Vladimir M. MARKOVIĆ, Dragoslav NIKEZIC**

*University of Kragujevac, Faculty of Science, R. Domanovica 12, 34000 Kragujevac, Serbia, [nstevanovic@kg.ac.rs](mailto:nstevanovic@kg.ac.rs), [vmarkovic@kg.ac.rs](mailto:vmarkovic@kg.ac.rs), [nikezic@kg.ac.rs](mailto:nikezic@kg.ac.rs)*

### ***ABSTRACT***

*The model and program code for creation of diffraction pattern of the light, when passes through track in solid state track detectors were developed in the paper. Wave-light was modelled according to Huygens-Fresnel principle. The program code was developed for correlation of diffraction pattern and track parameters. The developed model can be applied for analysis of tracks in track detectors.*