

## **NAUČNO NASTAVNOM VEĆU PRIRODNO MATEMATIČKOG FAKULTETA U KRAGUJEVCU**

Na sednici Naučno nastavnog veća Prirodno matematičkog fakulteta u Kragujevcu, održanoj dana 28.03.2007, odlukom broj 330/VII-1, određeni smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije pod naslovom **“RAČUNANJE ZAUSTAVNE MOĆI PREDSTAVLJANJEM PROJEKTILA I METE SKUPOM KVANTNIH OSCILATORA”**, kandidata Mr Nenada Stevanovića, istraživača pripravnika na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu. Nakon pročitane rada, a u skladu sa čl. 128 Zakona o visokom obrazovanju, a u vezi sa čl. 57 i 58 Zakona o Univerzitetu i u skladu sa čl. 51 stav 3 Statuta Fakulteta, podnosimo Veću Fakulteta sledeći

### **I Z V E Š T A J**

Kandidat Mr Nenad Stevanović je podneo rad pod naslovom **“RAČUNANJE ZAUSTAVNE MOĆI PREDSTAVLJANJEM PROJEKTILA I METE SKUPOM KVANTNIH OSCILATORA”**. Rad je izložen na 104 strana, a u okviru teksta prikazano je 28 slika i 192 jednačine. Ukupno je citirano 56 literaturnih jedinica.

Podneti rad se sastoji iz dva dela A i B. Deo A je opšti, bez originalnog naučnog doprinosa autora, daje pregled stanja u ovoj oblasti i ima monografski karakter. Deo B predstavlja rad kandidata na zadatoj temi.

Deo A se sastoji iz četiri Glave.

U prvoj Glavi, pod nazivom **OPŠTE KARAKTERISTIKE PROLASKA NAELEKTRISANIH ČESTICA KROZ MATERIJU**, na nerelativistički način tretirani su opšti zakoni sudara između naelektrisanih čestica, preko parametara sudara, bazirajući se na Rutherford-ovom modelu rasejanja. Dat je opis osnovnih procesa, koji se javljaju prilikom prolaska naelektrisanih čestica kroz materiju. Značaj ovih procesa zavisi od upadne energije naelektrisane čestice, prema čemu su i klasificirani.

U drugoj Glavi, pod nazivom **TEORIJSKI TRETMAN ZAUSTAVNE MOĆI**, dat je teorijski opis zaustavne moći na osnovima klasične fizike (prema Bohru), i bazirajući se na principima kvantne mehanike (Betheov pristup). Pri tome je smatrano da se kinetička energija

tačkastog naelektrisanog projektila troši na ekscitaciju i jonizaciju atoma mete. Detaljno je dato izvođenje diferencijalnog efikasnog preseka sudara projektila sa elektronima atoma mete. Na osnovu toga prikazan je Betheov račun zaustavne moći u prvoj Bornovoj aproksimaciji.

U ovom delu diskutovane su aproksimacije koje su uvedene pri računanju zaustavne moći. Pored toga, detaljno su razmatrane korekcije uvedene u formulu za zaustavnu moć sa ciljem da se procesi prolaska naelektrisane čestice kroz materiju opišu što tačnije.

U trećoj Glavi rada, **TRETMAN DELIMIČNO OGOLJENOG JONA**, dat je pregled radova u kojima je računata zaustavna moć za delimično ogoljen jon. Opisano je uvođenje efektivnog naelektrisanja projektila, koji u sebi sadrži vezane elektrone i efekat njihovog električnog ekraniranja. Naglašeno je da smanjenje naelektrisanja projektila, usled prisustva vezanih elektrona, smanjuje vrednost zaustavne moći.

Četvrta Glava rada, pod nazivom **ZAUSTAVNA MOĆ ZA DELIMIČNO OGOLJEN JON**, sadrži detaljan opis izvođenja diferencijalnog efikasnog preseka za sudar delimično ogoljenog jona sa atomima mete na osnovima kvantne mehanike, u prvoj Bornovoj aproksimaciji, bazirajući se na Betheovom principu. Za razliku od tačkastog projektila, gde se uračunava njegova interakcija sa elektronima mete, kod delimično ogoljenog jona potrebno je uračunati i interakciju njegovih elektrona sa elektronima i jezgrom atoma mete. Na osnovu toga izvedena je formula za računanje zaustavne moći za delimično ogoljen jon. U slučaju delimično ogoljenog jona, koji se formira pri niskim upadnim energijama, njegova kinetička energija se transformiše dodatno na njegovu ekscitaciju i jonizaciju. To povećava vrednost ukupne zaustavne moći. Posebno je tretiran deo koji predstavlja doprinos zaustavnoj moći usled ekscitacije i jonizacije projektila.

Deo B, za razliku od dela A, predstavlja originalan rad kandidata. Rezultati su predstavljeni u okviru V, VI i VII Glave i Zaključka.

U petoj Glavi, pod nazivom **PREDSTAVLJANJE PROJEKTILA I METE SKUPOM KVANTNIH OSCILATORA**, kandidat je razmatrao sudar kvantnih naelektrisanih oscilatora, koji interaguju Kulonovom silom. Smatrao je da je potencijal interakcije mnogo manji od kinetičke energije projektila-oscilatora, što omogućava da se diferencijalni efikasni presek računa u prvoj Bornovoj aproksimaciji. Diferencijalni efikasni presek je izrazio preko svojstvenih stanja harmonijskih oscilatora. Ovako dobijen efikasni presek je funkcija naelektrisanja projektila i mete, brzine projektila i energije pobuđenja

oscilatora projektila i mete. U podnetom radu je, na osnovu toga, izveden analitički izraz za gubitak energije kvantnog harmonijskog oscilatora.

Prema izrazu koji je kandidat izveo, ispitan je koliki se deo kinetičke energije projektila gubi na njegovo pobuđenje u zavisnosti od početne kinetičke energije projektila. U radu je pokazano da energija pobuđenja projektila znatno utiče na vrednost zaustavne moći, naročito pri njegovim nižim kinetičkim energijama (u oblasti Braggovog pika). U radu je nađeno da vrednost zaustavne moći opada sa porastom energije pobuđivanja projektila, naročito u oblasti Braggovog pika (maksimalne vrednosti zaustavne moći). Pored toga, kandidat je pokazao da se Braggov pik blago pomera u desno, ka višim vrednostima kinetičke energije projektila, odnosno, da se maksimalna vrednost izgubljene energije projektila javlja pri višim kinetičkim energijama, ukoliko energija pobuđenja projektila raste.

Iz ovog dela rada publikovan je jedan rad **Stevanović, N., Nikezić, D., *Stopping power. Projectile and target modeled as oscillators*, Phys. Lett. A 340, 290 (2005).**

U šestoj Glavi, pod nazivom **ANALITIČKI IZRAZ ZA ZAUSTAVNU MOĆ, PREDSTAVLJAJUĆI PROJEKTIL I METU ANSAMBLIMA KVANTNIH OSCILATORA**, kandidat je izveo analitički izraz za zaustavnu moć skupa kvantno mehaničkih oscilatora; taj izraz je dat u obliku sume zaustavnih moći pojedinačnih oscilatora mete i projektila. U podnetom radu zaustavna moć neke materije za dati projektil se računa kao suma zaustavnih moći pojedinačnih oscilatora utežnjenih dipolnim jačinama oscilatora atoma mete i projektila. Ovo je poboljšanje u odnosu na rad Sigmunda i Haagerupa (Phys. Rev. A, **34**, 892, 1986.), gde se zaustavna moć računa preko dipolnih jačina oscilatora mete (ne i projektila). Pri tome sumiranje se obavlja preko diskretnog i kontinualnog spektra energije projektila i mete, što opisuje njihovu ekscitaciju i jonizaciju.

Analitički izraz za zaustavnu moć dobijen u ovom radu je predstavljen u obliku zbira dva člana: jedan predstavlja doprinos zaustavnoj moći usled pobuđenja i jonizacije atoma mete i drugi koji predstavlja doprinos usled pobuđenja i jonizacije projektila.

U ovom radu zaustavna moć je računata za vodonik (H), helijum (He) i ugljenik (C), a razmatrani projektili su vodonik i helijum. Pri tome je pokazano da ukoliko projektil ima visoku kinetičku energiju, doprinos usled pobuđenja projektila postaje beznačajan, jer i broj vezanih elektrona u projektilu teži nuli. Ukoliko je kinetička energija projektila niska, doprinos zaustavnoj moći usled pobuđenja i jonizacije projektila postaje značajna. U zavisnosti od razmatranih projektila i mete, u radu je pokazano da doprinos zaustavnoj moći usled pobuđenja i jonizacije projektila iznosi 10-20%.

Iz ovog dela rada publikovan je jedan rad, **Stevanović, N., Nikezić, D.,** *Calculation of stopping power for partially stripped ions using an oscillator model*, Eur. Phys. J. D 42, 397–406, 2007.

U sedmoj Glavi rada, **POREĐENJE SA TEORIJSKIM I DOSTUPNIM EKSPERIMENTALNIM PODACIMA**, analitički izraz za zaustavnu moć, koji je izveden u Glavi VI, poređen je sa SRIM-om, Bethe-ovom formulom i izrazom koji je dat u radu (Cabrera-Trujillo et al., Phys. Rev. A, **55**, 2864, 1997.) Eksperimentalni podaci zaustavne moći, za razmatrane atome mete i projektila su prikazani sa greškom od 5-10%. Pri visokim energijama projektila, dobijeno je veoma dobro slaganje između izvedene formule i pomenutih eksperimentalnih i teorijskih podataka, dok pri nižim energijama postoje mala odstupanja, ali u okviru pomenutih grešaka.

U **ZAKLJUČKU** je dat sažet pregled rezultata i dostignuća rada. Diskutovani su nađeni rezultati u svetlu postojećih eksperimentalnih i teorijskih podataka.

Kao glavne naučne doprinose, izdvajamo da je kandidat u podnetom radu:

1. razmatrao sudar kvantnih naelektrisanih oscilatora;
2. izveo izraz za zaustavnu moć kvantnog harmonijskog oscilatora u prvoj Bornovoj aproksimaciji, ako je projektil, takođe, kvantni harmonijski oscilator;
3. pokazao da energija pobuđenja projektila znatno utiče na vrednost zaustavne moći;
4. pokazao da se maksimalna vrednost izgubljene energije projektila javlja pri višim kinetičkim energijama, ukoliko energija pobuđenja projektila raste;
5. uveo da se zaustavna moć neke materije za dati projektil, računa kao suma zaustavnih moći pojedinačnih oscilatora uteženih dipolnim jačinama oscilovanja atoma mete i atoma projektila;
6. pokazao da doprinos zaustavnoj moći usled pobuđenja i jonizacije projektila iznosi 10-20%.

## ZAKLJUČAK KOMISIJE

Komisija, ističe da je podneti tekst samostalan rad kandidata i da postoje novi i originalni rezultati. Pristup modelovanja projektila ansamblom kvantnih harmonijskih oscilatora u računanju zaustavne moći je originalan, i omogućuje pogodno računanje zaustavne moći.

Komisija takođe ističe da su 2 (dva) rada publikovana u časopisima R51-B i R52 kategorije: *Physics Letters A* sa indeksom citiranosti 1.550 i *European Physical Journal D* sa indeksom citiranosti 1.515. Pored toga, kandidat je do sada objavio još 9 (devet) radova kategorije R51 i R52 iz oblasti Radijacione fizike, koji nisu u direktnoj vezi sa disertacijom.

Na osnovu gore iznetih rezultata i podataka o radu **“RAČUNANJE ZAUSTAVNE MOĆI PREDSTAVLJANJEM PROJEKTILA I METE SKUPOM KVANTNIH OSCILATORA”**, kandidata Mr Nenada Stevanovića, kao i činjenice da su dva članka iz ovog rada prihvaćena za publikovanje u časopisima sa visokim indeksom citiranosti, Komisija predlaže Naučno-nastavnom Veću Prirodno - matematičkog fakulteta u Kragujevcu da prihvati ponuđeni tekst kao doktorsku disertaciju.

U Kragujevcu

25.04.2007. god.

### K O M I S I J A

---

Dr Dragoslav Nikezić, red. prof.

PMF- Kragujevac,

N.O. Radijaciona fizika, **mentor**

---

Dr Ivan Mančev, red. prof.

PMF – Niš,

N.O. Kvantna fizika i sudarni procesi

---

Dr Miroljub Dugić, van. prof.

PMF-Kragujevac,

N.O. Kvantna teorijska fizika

## Spisak radova mr Nenada Stevanovića

### I Magistarska teza

*Faktor uzmaka  $^{214}\text{Pb}$* , Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, 2004.

### II Radovi u međunarodnim časopisima

#### (a) Radovi proistekli iz disertacije

2.1. N. Stevanović and D. Nikezić. **Stopping power. Projectile and target modeled as oscillators.** *Physics Letters A*, 340 (1-4), 290-298, 2005. IF=1.55, R51 B

2.2. N. Stevanović and D. Nikezić. **Calculation of stopping power for partially stripped ion by using oscillator model.** *Eur. Phys. J. D* 42, 397-406, 2007. IF=1.515, R52

#### (b) Radovi iz Radijacione fizike, van disertacije

2.3. N. Stevanović, D. Nikezić. **Recoil factor of  $^{214}\text{Pb}$ .** *Journal of Aerosol Science.*, 35(8), 1041, 2004. IF=1.861, R51

2.4 D. Krstić, D. Nikezić, N. Stevanović i M. Jelić. **Vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in soil.** *Applied Radiation and Isotopes.*, 61(6), 1487, 2004. IF=1.000, R51

2.5. D. Nikezić, N. Stevanović. **Room model with three modal distribution of attached radon progeny.** *Health of Physics.*, 87(4), 405-409, 2004. IF=0.796, R51

2.6. D. Nikezić and N. Stevanović. **Influence of variability of  $^{214}\text{Pb}$  recoil factor on lung dose.** *Radiation Protection Dosimetry.*, 109, 197-199, 2004. IF=0.680, R52

2.7. D. Nikezić and N. Stevanović. **Room model with three modal distributions of attached  $^{220}\text{Rn}$  progeny. Dose conversion factor for  $^{220}\text{Rn}$  progeny.** Podneto u *Radiation Protection Dosimetry*, Accepted 2006. doi:10.1093/rpd/ncl089 IF=0.490, R52

2.8. D. Nikezić and N. Stevanović. **Radon progeny behavior in diffusion chamber.** *Nuclear Instruments and Methods B*, 239 (4), 399-406, 2005. IF=1.181, R51

2.9. D. Nikezić, B.M.F. Lau, N. Stevanović and K.N.Yu. **Absorbed Dose in Target Cell Nuclei and Dose Conversion Coefficient of Radon Progeny in the Human Lung,** *Journal of Environmental Radioactivity*, 89, 18-29, 2006. IF=1.243, R51

2.10. D. Krstić, N. Stevanović, J. Milivojević and D. Nikezić. **Transfer of  $^{137}\text{Cs}$  from soil to plants.** *Isotopes in Environmental Health Studies*, 43(1), 1-9, 2007. IF=1.500, R51

2.11. D. Nikezić and N. Stevanović. **Behavior of  $^{220}\text{Rn}$  progeny in diffusion chamber.** *Nuclear Instruments and Methods A*, 570, 182-186, 2007. IF=1.224, R51

### III Radovi na međunarodnim konferencijama

3.1. D. Nikezić, N. Stevanović, D. Krstić, V. Urosevic, **Behavior of  $^{218}\text{Po}$  in diffusion chamber for radon measurements.** *ECE*, Niska Banja, SCG, 6-10 jun 2005.

3.2. D. Nikezić, D. Kostić, N. Stevanović, K.N.Yu. **Solving the track wall equation by finite difference method.** INTS (23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids), Beijing, China, September 11-15, 2006. (štampan u izvodu).

### IV Radovi na domaćim konferencijama

4.1. D. Krstić, D. Nikezić, V. Ljubenov i N. Stevanović. **Računanje efektivne doze u plućama i gonadama od  $^{137}\text{Cs}$  u tlu.** *Zbornik radova, XXII Simpozijum Jugoslovenskog Društva za Zaštitu od Zračenja*, Petrovac, 2003.

4.2. D. Krstić, D. Nikezić, N. Stevanović i M. Jelić. **Vertikalna raspodela  $^{137}\text{Cs}$  u tlu.** *Zbornik radova, XXII Simpozijum Jugoslovenskog Društva za Zaštitu od Zračenja*, Petrovac, 2003. p. 181-184.

4.3. N. Stevanović i D. Nikezić. **Zaustavna moć alfa čestica u CR-39 detektoru.** *Zbornik radova, XXII Simpozijum Jugoslovenskog Društva za Zaštitu od Zračenja*, Petrovac, 2003.

4.4. N. Stevanović, D. Nikezić, D. Krstić, D. Kostić, M.S.Kovačević. **Faktor uzmarka radonovih potomaka.** *Zbornik radova, XXIII Simpozijum DZZSCG*, Donji Milanovac 26-28 septembar, 2005. 327-331, ISBN: 86-7306-075-3

4.5. D. Krstić, D. Nikezić, N. Stevanović, D. Vučić. **Radioaktivnost nekih uvoznih građevinskih materijala.** *Zbornik radova, XXIII Simpozijum DZZSCG*, Donji Milanovac 26-28 septembar, 2005. 309-311, ISBN: 86-7306-075-3

UNIVERZITET U KRAGUJEVCU  
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
KATEDRA ZA FIZIKU

---



*mr Nenad Stevanović*

**RAČUNANJE ZAUSTAVNE MOĆI PREDSTAVLJANJEM  
PROJEKTILA I METE SKUPOM KVANTNIH  
OSCILATORA**

***DOKTORSKA DISERTACIJA***

---

*Kragujevac, 2007.*



**UNIVERZITET U KRAGUJEVCU**

**PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET**

**KATEDRA ZA FIZIKU**

**Rukovodilac: Dr Dragoslav Nikezić, redovni profesor**

*Ova disertacija je rađena na Prirodno-matematičkom fakultetu pri Katedri za fiziku u Kragujevcu pod rukovodstvom prof. Dr Dragoslava Nikezića.*

Izražavam posebnu zahvalnost mentoru prof. Dr Dragoslavu Nikeziću na datoj slobodi u izboru teme i neprocenjivoj podršci u toku rada ove disertacije.

*Zahvaljujem se prof. Dr Miroljubu Dugiću na dobronamernim savetima i diskusijama.*

*Zahvalnost dugujem prof. Dr Ivanu Mančev na korisnim savetima i sugestijama.*

*Zahvaljujem se svim profesorima, kolegamicama i kolegama sa Katedre za fiziku, koji su mi pružili pomoć prilikom izrade disertacije.*

*Finansijsku podršku u izradi ove disertacije pružilo mi je Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine (projekat 141023).*

*Želim da se zahvalim svojoj porodici, bratu Predragu, sestri Gordani, majci Ljubici i ocu Dragomiru, za strpljenje i podršku koju su mi pružili.*

*Zahvalnost dugujem i svima onima, koji ovde nisu pomenuti, na interesovanju i pruženoj pomoći.*

## Spisak oznaka u radu

Zaustavna moć	$S$
Brzina projektila	$v$
Naelektrisanje projektila i mete	$z_1, z_2$
Efikasni presek	$\sigma$
Energija pobuđenja oscilatora projektila i mete	$\hbar\omega_p, \hbar\omega_t$
Parametar sudara	$b$
Predati impuls	$q$
Predana energija	$Q$
Vektor dometa	$\vec{R}$
Lateralni domet	$R_L$
Projektovani domet	$R_p$

## Spisak slika u radu

Slika 1. Veličine koje se odnose na pređeno rastojanje projektila u materiji.  $\vec{R}$  - vektor dometa;  $R_L$ - lateralni domet;  $R_p$ - projektovani domet;  $x$ -dužina prodiranja

*Slika 2. Rutherford-ov model rasejanja*

Slika 3. Trougao promene impulsa

Slika 4. Vektori impulsa pri sudaru projektila sa atomom.  $p$  ( $p'$ ) je impuls projektila pre (posle) sudara;  $q=p'-p$ .

Slika 5. Radijus vektori položaja projektila i elektrona u atomu mete u odnosu na jezgro atoma mete

Slika 6. Blochova korekcija u funkciji parametra  $y = z_1 v_0 / v$

Slika 7a. Zavisnost zaustavnog broja od energije projektila za  $z_1=1$

Slika 7b. Zavisnost zaustavnog broja od energije projektila za  $z_1=5$

Slika 8. Korekcija ljuske kao funkcija energije projektila

*Slika 9. Korekcija usled efekta gustine*

Slika 10. Barkasova korekcija kao funkcija energije projektila za različite vrednosti atomskog broja mete

Slika 11. Skretanje snopa jona He prolaskom kroz materiju koji se nalazi u magnetnom polju; S-izvor; K-kolimator; Z-zaklon.

Slika 12. Međusobni položaj projektila i atoma mete

Slika 13. Interakcija između projektila i mete kao oscilatora. Projektil je predstavljen sa dve naelektrisane čestice ( $z_1 e$ ) i ( $-z_1 e$ ) čije su mase  $m_1$ . Meta je predstavljena naelektrisanjima ( $z_2 e$ ) i ( $-z_2 e$ ), sa masama  $m_2$

Slika 14. Zaustavna moć harmonijskog oscilatora za tačkasti projektil kao funkcija od upadne energije projektila, za različite vrednosti energije pobuđenja mete

Slika 15. Uticaj energije pobuđenja mete na zaustavnu moć harmonijskog oscilatora za tačkasti projektil

Slika 16. Zaustavna moć harmonijskog oscilatora kao funkcija kinetičke energije projektila-oscilatora za različite vrednosti energije njegovog pobuđenja. Energija pobuđenja oscilatora mete je  $\hbar \omega_i = 5 eV$

Slika 17. Zaustavna moć harmonijskog oscilatora kao funkcija kinetičke energije projektila-oscilatora za različite vrednosti energije njegovog pobuđenja. Energija pobuđenja oscilatora mete je  $\hbar \omega_i = 10 eV$

Slika 18. Zaustavna moć harmonijskog oscilatora kao funkcija kinetičke energije projektila-oscilatora za različite vrednosti energije njegovog pobuđenja. Energija pobuđenja oscilatora mete je  $\hbar \omega_i = 15 eV$

Slika 19. Frakcija elektrona vezanih za projektil u zavisnosti od njegove kinetičke energije

Slika 20. Zaustavna moć vodonika za vodonikov jon u funkciji od energije projektila

*Slika 21. Zaustavna moć helijuma za vodonikov jon u funkciji od energije projektila*

*Slika 22. Zaustavna moć ugljenika za helijumov jon u funkciji od energije projektila*

Slika 23. Poređenje zaustavne moći vodonika dobijene SRIM-om sa eksperimentalnim podacima

Slika 24. Poređenje zaustavne moći helijuma dobijene SRIM-om sa eksperimentalnim podacima

Slika 25. Poređenje zaustavne moći ugljenika dobijene SRIM-om sa eksperimentalnim podacima

Slika 26. Zaustavna moć vodonika za vodonikov jon u funkciji od energije projektila. Poređenje sa Bethe-om, C-Trujillo et al. i SRIM-om.

Slika 27. Zaustavna moć ugljenika za vodonikov jon u funkciji od energije projektila. Poređenje sa Bethe-om, C-Trujillo et al. i SRIM-om.

Slika 28. Zaustavna moć ugljenika za helijumov jon u funkciji od energije projektila. Poređenje sa Bethe-om, C-Trujillo et al. i SRIM-om.

# S A D R Ž A J

UVOD.....	1
A) UVODNI DEO, OPŠTA RAZMATRANJA.....	9
I OPŠTE KARAKTERISTIKE PROLASKA NAELEKTRISANIH ČESTICA KROZ MATERIJU.....	9
I 1. Sudar naelektrisanih čestica prema Rutherford-ovom modelu.....	9
I 2. Procesi gubitka energije projektila pri prolasku kroz materiju .....	13
II TEORIJSKI TRETMAN ZAUSTAVNE MOĆI .....	16
II 1. Bohr-ov račun zaustavne moći .....	16
II 2. Kvantno - mehanički račun zaustavne moći .....	20
II 2.1. Diferencijalni efikasni presek sudara u prvoj Bornovoj aproksimaciji .....	20
II 2.2. Bethe-ov račun zaustavne moći .....	27
II 2.3. Blochov izraz za zaustavnu moć.....	33
II 3. Aproksimacije uvedene pri računanju zaustavne moći.....	35
II 4. Poređenje Bohrove, Betheove i Blochove formule za zaustavnu moć .....	36
II 5. Korekcije Bohr-Bethe-Bloch formule.....	39
II 5. 1. Korekcija ljuske (shell correction) .....	39
II 5. 2. Korekcija usled efekta gustine (density effect).....	40
II 5. 3. Barkasov efekat .....	41
III TRETMAN DELIMIČNO OGOLJENOG JONA.....	43
III 1. Efektivno naelektrisanje projektila.....	43
III 2. Uticaj efektivnog naelektrisanja na zaustavnu moć .....	45
IV ZAUSTAVNA MOĆ ZA DELIMIČNO OGOLJEN JON.....	46
IV 1. Opis sistema delimično ogoljen jon + atom mete.....	46
IV 2. Diferencijalni efikasni presek i zaustavna moć za delimično ogoljen jon.....	48

<b>B) TEORIJSKI DEO RADA.....</b>	<b>51</b>
<b>V PREDSTAVLJANJE PROJEKTILA I METE SKUPOM KVANTNIH OSCILATORA.....</b>	<b>51</b>
<i>V 1. Opis modelovanja projektila i mete ansamblom kvantnih oscilatora.....</i>	<i>52</i>
<i>V 2. Računanje zaustavne moći harmonijskog oscilatora .....</i>	<i>54</i>
<i>V 2.1. Računanje matričnih elemenata.....</i>	<i>58</i>
<i>V 2.2. Konačna formula za zaustavnu moć kvantnog harmonijskog oscilatora.....</i>	<i>61</i>
<i>V 3. Rezultati.....</i>	<i>62</i>
<i>V 3.1. Zaustavna moć harmonijskog oscilatora za tačkasti projektil .....</i>	<i>63</i>
<i>V 3.2. Zaustavna moć harmonijskog oscilatora za projektil-oscilator .....</i>	<i>65</i>
<i>V 4. Zaključak.....</i>	<i>67</i>
<b>VI ANALITIČKI IZRAZ ZA ZAUSTAVNU MOĆ, PREDSTAVLJAJUĆI PROJEKTIL I METU ANSAMBLIMA KVANTNIH OSCILATORA.....</b>	<b>68</b>
<i>VI 1. Izražavanje zaustavne moći preko sume parcijalnih zaustavnih brojeva.....</i>	<i>69</i>
<i>VI 2. Računanje zaustavnih brojeva, <math>L^{osc}</math>, preko stanja kvantno mehaničkog oscilatora.....</i>	<i>72</i>
<i>VI 3. Računanje parcijalnih zaustavnih brojeva, <math>L^{at}</math>, za metu i projektil .....</i>	<i>75</i>
<i>VI 4. Broj vezanih elektrona u pojektilu kao funkcija od njegove brzine .....</i>	<i>78</i>
<i>VI 5. Rezultati.....</i>	<i>80</i>
<b>VII POREĐENJE SA TEORIJSKIM I DOSTUPNIM EKSPERIMENTALNIM PODACIMA.....</b>	<b>83</b>
<i>VII 1. SRIM i eksperimentalni podaci.....</i>	<i>83</i>
<i>VII 2. Poređenje sa SRIM-om i teorijskim podacima .....</i>	<i>87</i>
<b>VIII ZAKLJUČAK .....</b>	<b>90</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>92</b>
<b>DODATAK I.....</b>	<b>97</b>
<b>DODATAK II.....</b>	<b>99</b>
<b>DODATAK III .....</b>	<b>101</b>
<b>DODATAK IV PUBLIKOVANI RADOVI</b>	









































































































































































































































