Prof. dr. sc. Anđelka Tonejc, najistaknutija hrvatska znanstvenica na području visokorazlučujuće transmisijske elektronske mikroskopije

Smontara, Ana

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2023, 74, 3 - 8**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:570025

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

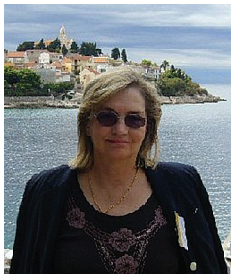
Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Prof. dr. sc. Anđelka Tonejc, najistaknutija hrvatska znanstvenica na području visokorazlučujuće transmisijske elektronske mikroskopije

Ana Smontara



Anđelka Tonejc

Anđelka Tonejc (rođ. Mejaški) je provela sav svoj znanstveni i nastavni vijek (1965. – 2012.) na Fizičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu, a prvih 25 godina njezine znanstvene karijere usko je vezano uz znanstveni rad na Institutu za fiziku Sveučilišta (IFS) u Zagrebu. Bila je prva znanstvenica koja se počela baviti visokorazlučujućom transmisijskom elektronskom mikroskopijom (HR-TEM) na elektronskom mikroskopu instaliranom u Hrvatskoj. Tu tehniku je uvelike koristila za proučavanje nanostruktura. Prva je u Hrvatskoj primijenila Fourierovu analizu i Rietveldovu metodu za analizu elektronske difrakcijske (ED) slike. Bila je suosnivač Laboratorija za mikrostrukturnu analizu na Fizičkom odsjeku PMF-a. Postigla je međunarodno zapažene rezultate i svjetski ugled koji se vidi u pozvanim predavanjima na međunarodnim skupovima, poglavljima u knjigama (monografijama) kao i objavljivanjem svojih rezultata u najprestižnijim časopisima u području znanosti o materijalima. Svoja znanja je nesebično prenosila na mlade znanstvenike putem predavanja na doktorskim studijima i mentorstvu studentima i mlađim suradnicima. Zamolili smo ju za razgovor za ovaj list, jedan od najstarijih te vrste u Europi, te joj se u ime čitatelja zahvaljujemo na ljubaznom odazivu.

Rođeni ste u Iloku, a gimnaziju polazili u Bjelovaru. Molimo Vas da ukratko opišete svoje osnovnoškolsko i srednjoškolsko obrazovanje. Tko je u Vama pobudio interes za fiziku?

Rođena sam u Iloku 13. srpnja 1942. Roditelji su mi majka Ružica Salacko i otac Ivan Mejaški, veterinar. Rođena sam u vrijeme Drugog svjetskog rata i moja prva sjećanja su u vezi ratnih zbivanja krajem rata. Ilokom su tada dolazile i prolazile razne vojske i sjećam se, kao dijete, da su u našoj kući Bugari imali svoj štab. Bili su ljubazni prema nama. Nisu dugo ostali jer se fronta stalno pomicala prema zapadu. Bilo je puno pucnjave i avionskih napada, tako da smo često bili u podrumu gdje sam imala svoj krevetić. Tata je kao veterinar imao puno posla. Po završetku rata je bio najprije premješten u Srbiju u Niš, a kasnije je služio u vojnoj ergeli čistokrvnih konja u Ljubičevu kod Požarevca, koji su se koristili za utrke, pogotovo povodom 1. svibnja. Imam dvije sestre, mlađe od mene dvije i šest godina. Ergela je prestala biti pod okriljem vojske (JNA) 1951. godine, te je tata mogao birati gdje ćemo nastaviti živjeti i raditi. Izabrao je Sv. Ivan Žabno, koji se nalazi otprilike na pola puta od Bjelovara prema Zagrebu i preselili smo se tamo. Tu smo živjeli 22 godine, sve do odlaska mog tate u mirovinu, nakon čega su prešli u Zagreb.

Prva dva razreda osnovne škole sam završila u Ljubičevu, tako da mi je nastavak školovanja u Žabnu bio dosta težak jer sam u Srbiji učila pisati samo na ćirilici, a i drugi sadržaji

su se razlikovali. Tamo sam, primjerice, slušala o kraljeviću Marku i bitci na Kosovu polju, a u Žabnu o hrvatskim kraljevima. Na sreću, matematika je svuda bila ista, a ona mi je zaista jako dobro išla. Međutim, brzo sam uhvatila ritam, te bila odličan đak, najbolja u razredu. Učila sam svirati i glasovir jer smo ga imali kod kuće, a kasnije u 6. i 7. razredu svirala sam bisernicu u školskom tamburaškom orkestru, čak smo išli na natjecanja osnovnih škola u Križevcima. Osnovnu školu sam završila s odličnim uspjehom i nastavila školovanje u gimnaziji u Bjelovaru. Imala sam vrlo dobrog profesora iz fizike, a jedne godine bila je i Međunarodna godina geofizike te mi je to sve skupa pobudilo zanimanje za fiziku. Gimnaziju u Bjelovaru sam završila 1960. godine s odličnom uspjehom i ujesen te godine upisala PMF u Zagrebu, stručni smjer fizike, na veliko razočaranje mojih roditelja, koji su željeli da upišem medicinu, ali su ih *utješile* moje dvije mlađe sestre, koje su poslušale savjet roditelja.

Studirali ste fiziku na PMF-u u Zagrebu. Koji su Vam kolegiji bili najinteresantniji i koje Vas je područje u fizici najviše zaokupilo tijekom studija?

Na prvoj godini je opću fiziku predavao prof. Ivo Šlaus, mladi nuklearni fizičar s Instituta Ruđera Boškovića i bili smo mu prva generacija u kojoj su bili i studenti, kasnije vrlo poznati fizičari kao Slaven Barišić, Stjepan Marčelja, Miroslav Furić, Đurica Miljanić, Antun Tonejc (kasnije su se nazivali *Šlausova* generacija). Nakon prvog semestra omogućio je svim studentima koji su položili opću fiziku s odličnim uspjehom, da za vrijeme zimskih školskih praznika provedu tjedan dana u eksperimentima na IRB-u (naravno, iz nuklearne fizike). Mnogi od studenata su prihvatili ponudu te je to sigurno bio jedan od važnijih razloga zašto su se još za vrijeme studija mnogi od njih odlučili posvetiti znanstvenom radu, pa tako i ja.

Te 1960. osnovan je IFS i već sljedeće godine se pojavio natječaj za stipendije. Prijavila sam se, i na drugoj godini studija ju dobila. Kada se na četvrtoj godini studija trebalo opredijeliti za smjer, izabrala sam atomsku fiziku, zahvaljujući ponajviše prof. Branimiru Markoviću (na IRB-u je u to doba vodio laboratorij za atomska istraživanja) čija predavanja iz predmeta Odabranih poglavlja fizike su bila vrlo zanimljiva jer su bila popraćena interesantnim pokusima. Diplomirala sam 13. ožujka 1965. eksperimentalnu atomsku fiziku (mentor Vladis Vujnović). Odmah nakon toga sam se zaposlila kao asistentica na Fizičkom zavodu PMF-a i istovremeno počela raditi kao vanjska suradnica na IFS-u.

Kako je teklo Vaše postdiplomsko usavršavanje (magisterij, doktorat)?

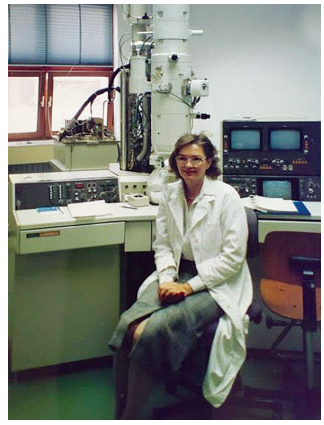
Magistrirala sam 15. ožujka 1969. iz područja atomske fizike s temom *Određivanje temperature u električnom izboju mjerenjem profila spektralnih linija* (mentor Vladis Vujnović). Istraživanjima iz područja atomske fizike bavila sam se do 1973. i objavila 12 znanstvenih radova. U to vrijeme je na IFS-u postojala grupa Fizika metala I, koja se bavila istraživanjima strukture metala i slitina i faznih pretvorbi u tim materijalima pomoću transmisijske elektronske mikroskopije (TEM) i rendgenske difrakcije (RD). U razgovorima s kolegama iz te grupe zaključila sam da je poznavanje strukture materijala na svim ljestvicama (od atomske do mikroskopske) neophodno za razumijevanje svojstava materijala i da je to područje fizike koje bi me moglo u budućnosti jako zanimati, te sam 1974. promijenila područje istraživanja iz atomske fizike u fiziku čvrstog stanja, iako sam praktički već imala dovoljno rezultata mjerenja za doktorat iz atomske fizike. Promjena područja iz atomske u fiziku čvrstog stanja, koje nemaju ništa zajedničkog, na kratko je usporilo moj znanstveni rad. Međutim relativno brzo sam se uklopila u novo područje te doktorirala iz područja fizike čvrstog stanja godine 1980. s temom *Istraživanje brzo kaljenih slitina s bazom srebra i aluminija metodama rendgenske i elektronske difrakcije* (mentor Antun Bonefačić). Godine 1981. izabrana sam u znanstveno zvanje znanstvena suradnica, 1988. docentica u Fizičkom zavodu PMF-a, izvanredna profesorica postala sam 1995., redovita profesorica 2001., a redovita profesorica u trajnom zvanju 2005.

Laboratorij za atomsku fiziku, IFS 1971: Krešo Acinger, Anđelka Tonejc, Vladis Vujnović – voditelj laboratorija.

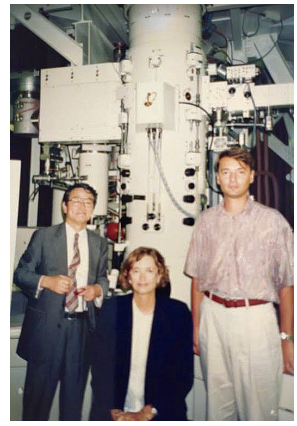
Posvetili ste se području fizike čvrstog stanja. Gdje ste se sve usavršavali?

Od siječnja 1975. do lipnja 1976. bila sam na postdiplomskom studijskom boravku u *Laboratoire des Physique des Solides*, Faculté des Sciences, Université Paris-sud, Orsay, u grupi prof. A. Guiniera, gdje sam se usavršavala u metodama rendgenske difrakcije, te transmisijske elektronske mikroskopije. Tada sam se posebno zainteresirala za elektronsku mikroskopiju visokog razlučivanja. Prof. Bonefačić, voditelj naše grupe, podržao me je u ideji da se nabavi, kad bude moguće, elektronski mikroskop visokog razlučivanja.

Postavljanje mikroskopa na FO, veljača 1992: Anđelka Tonejc, Slavko Žižek – serviser, Antun Tonejc.



Prvi rad na mikroskopu, lipanj 1992: Anđelka Tonejc.



JEOL-ova tvornica u Tokiju, kolovoz 1993., ispred 1 MeV EM: predsjednik japanskog EM društva, Anđelka Tonejc, Davorin Bagović – student postdiplomand.

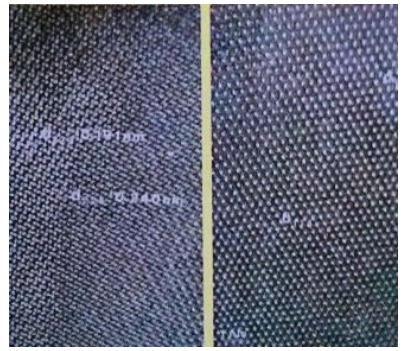
Kada se 1991. Fizički odsjek preselio s Marulićevog trga u novu zgradu fizike na Bijeničkoj (kasnije Horvatovcu), uspjelo se, uz druge moderne instrumente, nabaviti i JEOL-ov 200 kV visokorazlučujući transmisijski elektronski mikroskop, koji je tada bio najbolji te vrste na području bivše Jugoslavije. Nakon što sam savladala osnove rukovanja instrumentom, u kolovozu 1993. otišla sam na usavršavanje iz elektronske mikroskopije u Istraživački laboratorij tvornice JEOL, Tokio, Japan.

S obzirom da je za analizu EM slika potrebno koristiti i *softverske* metode, u lipnju 1995. sam aktivno sudjelovala na *Electron crystallography school* na Department of Chemistry, Stockholm University, Stockholm, u vezi računalne obrade slika dobivenih visoko razlučujućom elektronskom mikroskopijom te naučila primjenjivati Fourierovu analizu u izvođenju mikrostrukture iz elektronske difrakcije tzv. *image processing*.

Stečeno znanje mi je omogućilo da sam među prvima u svijetu, kod ispitivanja nanostrukturnih metalnih oksida, primijenila tzv. *Rietveld metodu*, koja se inače standardno koristi kod određivanja strukture rendgenskom difrakcijom polikristalnih praškastih uzoraka, na analizu elektronske difrakcije snimljene na fotografski film.

Koje ste značajne rezultate postigli u primjeni elektronske mikroskopije visokog razlučivanja u istraživanju strukturnih svojstava nanokristalnih materijala? Koji su Vaši najznačajniji doprinosi fizici?

Kao jedina u Hrvatskoj bavila sam se eksperimentalnim radom iz elektronske mikroskopije visokog razlučivanja (HRTEM) na mikroskopu instaliranom u Hrvatskoj. Treba uočiti da bez korištenja TEM-a i HRTEM-a usporedo s elektronskom difrakcijom (ED), nije moguće razumjeti vezu između struktura i fizikalnih svojstava nanomaterijala, koji su osobito važni u suvremenoj znanosti i tehnologiji. Upravo na području nanomaterijala, posebno na području nanokristalnih metalnih oksida, važnih za primjenu kao oksidi Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2 (čisti i dopirani) ostvarila sam najznačajnije rezultate.



Prve slike linijskog i atomskog razlučivanja, dobivene na elektronskom mikroskopu, na uzorku korunda Al_2O_3 (Fizički odsjek 1993.). Bijele točkice su, jednostavno rečeno, slike Al_2O_3. Vide se razlučene ravnine $d_{229} = 0.191$ nm, $d_{225} = 0.240$ nm.

Početkom 90-tih, koristili smo za sintezu/legiranje materijala i dobivanje nanokristalnih materijala, tzv. metodu mljevenja (*ball milling*), tada vrlo popularnu u svijetu, u kojoj proces legiranja nije bio dovoljno razjašnjen. Međutim pomoću HRTEM-a, u uzorcima iz pojedinih sukcesivnih faza mljevenja, uspjela sam po prvi puta dokazati da se proces legiranja ostvaruje *putem lijepljenja* atomskih ravnina, te da proces započinje na granicama zrna, što se do tada nije znalo, odnosno samo se naslućivalo. Pritom sam u obradi HRTEM slika koristila metodu Fourierovog filtriranja, što je prvi put u svijetu primijenjeno na nanokristalne uzorke metalnih oksida.

Također sam proučavala željezom dopirani TiO_2 pripremljen modificiranom sol-gel metodom. Pritom sam, sa suradnicima, prvi puta primijenila tzv. Rietveld metodu za analizu obrade elektronske difrakcije, koja se inače standardno koristi za analizu rendgenske difrakcije na materijalima u obliku praha. Tu *izvornu* rendgensku metodu smo uspješno primijenili na prah kao i na tanke slojeve ZrO_2 dobivene različitim postupcima (primjerice CVD postupkom).

S kojim ste fizičarima i institucijama, u hrvatskoj i inozemstvu posebno uspješno surađivali?

Uzelo bi previše mjesta kad bih brojila sve osobe i institucije s kojima sam surađivala tijekom moje znanstvene karijere. Spomenut ću samo nekoliko njih: Sven Hovmöller, Department of Structural Chemistry, Stockholm University, Stockholm, Sweden; Maria Dolores Barro i Santiago Surinach, Universitat Autonoma de Barcelona, Department of Physics, Bellatera, Spain; Ana Smontara, IFS, Zagreb; Nikola Radić, Mile Ivanda, Aleksandra Turković, Andreja Gajović, Boris Subotić, Svetozar Musić, IRB, Zagreb; Viktor Kraševec, Albert Prodan, Institut Jožef Štefan, Ljubljana; Davorin Medaković, Centar za istraživanje mora, Rovinj; Silvija Gradečak, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.

Objavili ste u koautorstvu veliki broj izuzetno vrijednih znanstvenih radova, održali niz seminara i predavanja na međunarodno-prestižnim institucijama odnosno znanstvenim skupovima i školama. Možete li spomenuti barem neke od njih?

Objavila sam preko 110 znanstvenih radova u prestižnim znanstvenim časopisima i sudjelovala na brojnim međunarodnim konferencijama diljem svijeta. Da nabrojim samo njih nekoliko: Sendai (Japan), Quebeck (Kanada), Pariz i Nancy (Francuska), Reading (Engleska), Granada i Sitges (Španjolska), Würzburg, Achen i Regensburg (Njemačka), Rim i Erice (Italija), Prag (Češka), Innsbruck, Beč i Graz (Austrija), Davos (Švicarska), Budimpešta i Balaton (Mađarska), Dublin (Irska), Stockholm (Švedska), itd. Od važnijih pozvanih predavanja bi istaknula ono održano na *11th European Congress on Microscopy*, Dublin, Irska, 1996., te na *19th European Crystallographic Meeting*, Nancy, Francuska, 2000. Ta konferencija mi je posebno ostala u uspomeni zbog mog pozvanog predavanja pod naslovom *Evidence from HRTEM image Processing Analysis of Nanocrystalline Iron-Titanium Oxide Powders*, koje sam održala u sekciji *Microstructure Analysis by Powder Diffraction*, pred punim auditorijem i nakon predavanja bilo je mnogo pitanja što mi je bio znak da je moj rad pobudio veliki interes.

Na *7th Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting with International Participation*, 18.–20. srpnja, 1998., u Radencima u Sloveniji, održala sam jednosatno pozvano predavanje pod naslovom *High-resolution electron microscopy (HREM): Image processing analysis of defects and grain boundaries in nanocrystalline materials.* Bila sam pozvana predavačica na ljetnoj školi *36th International Crystallographic Course – International School of Crystallography, Electron Crystallography* u Ettore Majorana Foundation Centre, Erice, Sicilija, 2004. U proljeće 1996. pozvala me je prof. M. D. Barro, da na postdiplomskom studiju fizike čvrstog stanja na Universitat Autonoma de Barcelona, Department of Physics, Bellatera, Španjolska, održim niz predavanja iz elektronske mikroskopije.

Koje ste prestižne nagrade dobili za svoj znanstveni rad?

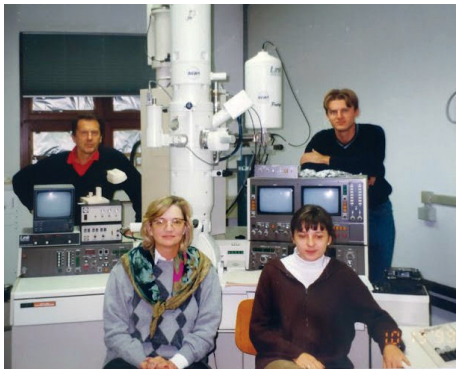
Za svoj znanstveni rad dobila sam 2010. godine godišnju nagradu HAZU-a iz područja matematičkih, fizičkih i kemijskih znanosti, polje fizika za *izvanredna postignuća tijekom posljednjih pet godina, kao i za cijeli znanstveni opus s izrazitim odjekom u međunarodnoj znanstvenoj zajednici*. Na tu nagradu sam izuzetno ponosna, jer se dodjeljuje svake druge godine i to samo jednoj osobi, tako da ju je dobilo vrlo malo fizičara.

Obnašali ste i brojne odgovorne dužnosti, sudjelovali u osnivanju Laboratorija za mikrostrukturna istraživanja i postavljanju JEOL-ovog transmisijskog elektronskog mikroskopa visokog razlučivanja na PMF-u, bili ste pročelnica Fizičkog odsjeka PMF-a u dva mandata, mentorica diplomskih, magistarskih i doktorskih radova?

Bila sam najprije zamjenica pročelnika Fizičkog odsjeka PMF-a u dva mandata (1997.–2001.), a obavljala i dužnost pročelnice Fizičkog odsjeka, također u dva mandata (2001.–2005.), što osobno posebno cijenim jer sam do tada bila jedina ženska osoba koja je bila pročelnik odsjeka. Sudjelovala sam i u izradi programa za kolegije na dodiplomskom studiju: Fizički praktikum 5, na smjeru inž. fizike PMF-a; Fizika na studiju grafičke tehnologije; Fizika na smjeru inž. geologije PMF-a, te na Rudarsko-geodetsko-naftnom fakultetu;

također za kolegij Elektronska mikroskopija i difrakcija na postdiplomskom studiju kemije i geologije na PMF-u; te za Elektronsku mikroskopiju, unutar kolegija Eksperimentalna istraživanja u fizici, smjer fizika čvrstog stanja, na Fizičkom odsjeku. Napisala sam i interna skripta za Fizički praktikum 5.

Bila sam mentorica i mnogih diplomskih, magistarskih i doktorskih radova. Posebno bi istaknula moju diplomandicu Silviju Gradečak-Garaj (1999.) te diplomanda i doktoranda Igora Đerđa (2003.), za koje sam odmah znala da ih čeka uspješna karijera i drago mi je da sam ih uvela u tajne znanstvenog istraživanja. Silvija je doktorirala u Švicarskoj. Do 2019. bila je izvanredna profesorica na prestižnom MIT-u (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA), a od 2019. je profesorica u trajnom zvanju na National Univerity of Singapure i direktorica odjela za istraživanje i tehnologiju, dok je Igor Đerđ nakon uspješne znanstvene karijere redoviti profesor na sveučilištu J. J. Strossmayera u Osijeku.



Grupa za elektronsku mikroskopiju na Fizičkom odsjeku, 1999: Antun Tonejc, Anđelka Tonejc, Silvija Gradečak – diplomandica, Igor Đerđ – doktorand.

Dodjela studentskih nagrada FO, prosinca 2003: pročelnica Anđelka Tonejc i nagrađeni studenti.

Članica sam hrvatske i europske znanstvene udruge za elektronsku mikroskopiju i za kristalografiju, te posebne interesne grupe za elektronsku mikroskopiju u okviru europske kristalografske udruge. Bila sam dopredsjednica hrvatskog mikroskopskog društva kao i recenzentica mnogih znanstvenih radova međunarodnih i domaćih časopisa, te recenzentica međunarodnih projekata te udžbenika iz fizike.

Biste li bili tako ljubazni da uputite poruku učenicima srednjih škola koji bi se više željeli posvetiti fizici?

Poruka je vrlo jednostavna. Ako volite fiziku i istraživanje, onda je fizika pravo mjesto za vas. Nema dosadnih trenutaka, jer sve što radite je novo i ono što je već otkriveno ili izračunato, više nikoga ne zanima. Svaki dan donosi neku novu spoznaju i tako sav radni vijek. Kako treba svoj rad predočiti na kritiku međunarodnoj znanstvenoj zajednici, a to se može samo prisustvovanjem raznim kongresima i simpozijima, time imate mogućnost proputovati i upoznati čitav svijet. Ako pak volite prenositi stečeno znanje na mlađe generacije, onda je znanstveno-nastavno zvanje na fakultetu ili srednjoj školi pravo mjesto. No to ne znači da treba zapostaviti osobni život. Napravila sam plodnu i uspješnu znanstveno-nastavnu karijeru, a uz to imam dvoje odrasle djece (sina i kćer) i petero unučadi. Voljela sam planinariti, igrati tenis i čitati dobre knjige. Sve se može stići. Samo treba dobro i korisno rasporediti vrijeme. Zaključak: život znanstvenika nikada nije dosadan, već je više nego zanimljiv.