



## Antun Tonejc, istaknuti hrvatski eksperimentalni fizičar u području mikrostrukturnih i nanostrukturnih istraživanja materijala

Ana Smontara



Antun Tonejc

Rođen je 8. veljače 1942. u Varaždinu, osnovnu i srednju školu završio u Ptuju, maturirao 1960., te upisao studij Fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF). Diplomirao je 1965. iz eksperimentalne fizike čvrstog stanja. Odmah se zaposlio na Institutu za fiziku Sveučilišta (IFS) da bi nakon samo pet mjeseci prešao u Fizički zavod (FZ) PMF-a, ali ostao znanstveno raditi na IFS-u sve do preseljenja 1991. FZ-a s Marulićevog trga u novu zgradu Fizike na Horvatovcu, izgrađenu u blizini IFS-a, gdje je osnovao *Laboratorij za mikrostrukturna istraživanja* i bio njegov voditelj te se bavio nastavno-istraživačkim radom do odlaska u mirovinu. Godine 1970. je dobio Republičku nagradu za mladog znanstvenika. Doktorirao 1972. na PMF-u, a već iduće godine otišao

na dvogodišnje postdoktorsko usavršavanje u najveći francuski znanstveni institut CEA Paris-Saclay. Obnašao je dužnost predstojnika FZ-a od 1996. do 2001., a 2007. je bio dobitnik godišnje nagrade Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti (HAZU) iz područja matematičkih, fizičkih i kemijskih znanosti. Umirovljen je nakon 47 godina radnog staža kao redoviti profesor u trajnom zvanju Fizičkog odsjeka (FO) PMF-a 2012. Uzimajući u obzir i članke objavljene u sklopu konferencija objavio je preko 200 znanstvenih radova te 2014. i knjigu *Rječnik kristalografije, fizike kondenzirane tvari i fizike materijala: englesko-hrvatski i hrvatsko-engleski*.

**Rođeni ste u Varaždinu, osnovnu školu i gimnaziju završili u Ptuju, studirali na PMF-u Zagrebu. Na prvi pogled dosta neobičan put od rođenja do dolaska na studij fizike u Zagrebu. Tko je u Vama pobudio interes za fiziku? Jeste li se susreli s Matematičko-fizičkim listom (MFL) za vrijeme srednje škole? Što je bilo odlučujuće u vašoj odluci da se počnete baviti istraživanjima iz područja eksperimentalne fizike čvrstog stanja?**

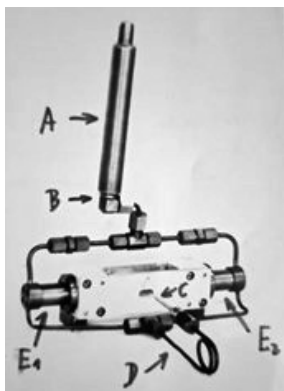
Da bi se moglo objasniti navedene činjenice, treba se vratiti u prošlost, na početak II. svjetskog rata. U to vrijeme su moji roditelji živjeli u Ptuju, kao i moja baka koja je bila Hrvatica. Nakon njemačke okupacije Slovenije okupator je osobe koje ih nisu simpatizirale, tzv. “nepodobne Slovence”, jednostavno strpao u vlakove za Srbiju, a mlade i zdrave poslao na prisilni rad u Njemačku. Moja baka je uspjela dobiti dozvolu da se presele kod brata u Varaždin, dok su moji roditelji najprije bili u logoru u Novoj Gradiškoj, a kasnije u Subotici. Čuvari domobrani uputili su ih kako se izvući iz logora u Novoj Gradiškoj uz pomoć pisma rodbine hrvatskog podrijetla kojim se garantira da će ih primiti na stan i hranu. Tako smo završili u Varaždinu i poslije rata smo se vratili u Ptuj. Već u osnovnoj školi sam primijetio da sam bolji u matematici od ostalih đaka, a u srednjoj školi je to bilo i s fizikom. U trećem razredu gimnazije sam imao vrsnog profesora iz fizike i matematike koji je učvrstio moju sklonost prema fizici. Gimnazija je primala MFL, te mi

je profesor, znajući za moju sklonost, uvijek davao nove brojeve. U jednom od njih pojavio se članak s naslovom *Nuklearne reakcije*, što sam kasnije izabrao i kao temu za moj maturalni rad *Nuklearne reakcije i njihova primjena*. Nisam u tom trenutku niti slutio da ću se baviti znanstvenim radom, već sam pomišljao da ću kao zanimanje izabrati poziv srednjoškolskog profesora iz fizike. Upisao sam 1960. studij fizike na PMF-u u Zagrebu, što nije bilo ništa neobično, jer su mnogi maturanti Gimnazije u Ptuju odlazili na studij u Zagreb. Sve se promijenilo početkom drugog semestra moje prve godine studija kada se na oglasnoj ploči FZ-a na Marulićevom trgu 19 pojavio oglas o raspisivanju stipendija na IFS-u. U oglasu su se pozivali studenti prve godine s odličnim ocjenama da se prijave u kancelariji FZ-a. Među studentima se pojavila velika nedoumica jer su tada svi znali za Institut Ruđera Boškovića (IRB), a nitko do tada nije čuo za IFS. No brzo se saznalo da se radi o novom institutu koji je tada postojao samo na papiru i čija se gradnja uskoro očekivala na Horvatovcu, na Bijeničkoj cesti 46, nešto južnije od IRB-a, te se traže mladi kadrovi za znanstveni rad, posebno iz područja fizike čvrstog stanja. Naime, uslijed nedostatka prostora na Marulićevom trgu za nastavni i znanstveni rad zaposlenika FZ-a, za praktikume (posebno za specijalističke: čvrsto stanje, nuklearna fizika, atomska fizika, dozimetrija, elektronika te predavanja na trećoj i četvrtoj godini) i izradu eksperimentalnih diplomskih radova kao i nemogućnost povećanja broja nastavnog-znanstvenog kadra, Prof. Mladen Paić, tada predstojnik FZ-a, osobito se angažirao da se problem riješi osnivanjem i izgradnjom IFS-a. Nas nekoliko je predalo molbe te smo uskoro bili obaviješteni da su nam dodijeljene i stipendije. Između ostalih dobili su ih Slaven Barišić, postao redoviti član HAZU-a 1991., Stjepan Marčelja, od 2013. profesor emeritus na Australian National University, Canberra, te Anđelka Mejaški (Tonejc). Da budem iskren, stipendija mi je trebala kao financijska pomoć studiranja, a manje sam mislio što će mi ona značiti u budućnosti. Tijekom studija, počeo sam drugačije razmišljati, pogotovo, što je Mladen Paić, predstojnik FZ-a i tada privremeni direktor IFS-a u izgradnji, kasnije svakom je stipendistu dodijelio mentora koji je trebao uvesti svog stipendista u znanstveni rad. Ja sam kao mentora dobio Katarinu Kranjc koja se bavila ispitivanjem struktura pomoću difrakcije rendgenskih zraka i bila je prvi doktor fizičkih znanosti među ženama u Hrvatskoj i dala mi zadatak “dobivanje monokristala NaCl iz taljevine” što je na kraju rezultiralo diplomskim radom “primjena Laueove metode rendgenske difrakcije na monokristalima NaCl”. Na FZ-u je postojao stari rendgenski uređaj i rad s rendgenskom difrakcijom me toliko zainteresirao da mi je rendgenska difrakcija postala i ostala osnovna metoda za znanstvena istraživanja cijeli moj radni vijek.

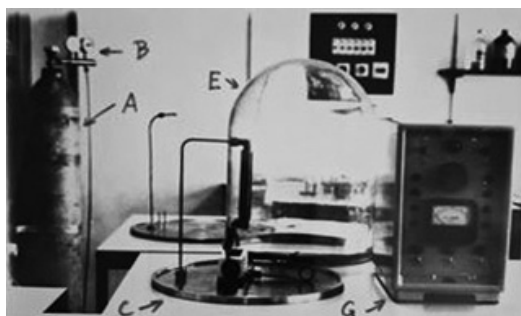
### **Svoju znanstvenu karijeru započeli ste na IFS-u, koji je još bio u izgradnji.**

Početak mog rada na IFS-u bi se teško mogao nazvati znanstvenim. Nakon što sam 11. siječnja 1965. diplomirao, mislio sam otići kući u Ptuj i malo se odmoriti od učenja. No profesor Mladen Paić je mislio drugačije. Sutradan me pozvao u svoju sobu na FZ-u i jednostavno rekao: “Kolega Tonejc, skupite sve potrebne dokumente, izvadite radnu knjižicu jer u ponedjeljak 18. siječnja počinjete raditi na IFS-u”, koji se tada još gradio. Toliko o mom planiranom odmoru. U početku se moj rad odvijao u knjižnici IRB-a, u proučavanju literature, a u mislima sam bio na IFS-u, čiji kraj izgradnje se već polako nazirao. Već nakon nekoliko mjeseci prešao sam na radno mjesto asistenta FZ-a PMF-a, ali i dalje ostao znanstveno raditi na IFS-u. Tamo još nije bilo ničega kad me prof. Paić jednog dana pozvao da mi priopćim da su dostavljeni prvi uređaji te me zadužio da usred zime u nezagrijanom IFS-u otpakiram i provjerim pristiglu znanstvenu opremu na IFS, pogotovo Siemensov difraktometar (bilo je raznih kutija u nekoliko punih soba), i nakon toga sam postavljao difraktometar uz pomoć tehničara. Postojali su i drugi “eksperimentalni” poslovi. Tako je primjerice Emil Babić (sada profesor emeritus na Fizičkom odsjeku PMF-a) bio zadužen da pomaže domaru razmještati namještaj (stolove i stolice) po sobama kao i da pomaže instalirati Philipsov ukapljivač dušika i Collinsov ukapljivač helija. Ti “eksperimentalni radovi” su bili ubrzo obavljani i IFS je službeno otvoren 29. svibnja 1967. te je na pristiglim i postavljenim uređajima uskoro počeo ozbiljan znanstveni rad. Moj zadatak

je bio uhadavanje uređaja za ekstremno brzo hlađenje tekućih metala i slitina, “dvostruka klip metoda”, kojom su se postizale brzine hlađenja taljevina od više od milijun stupnjeva celzija u sekundi te dobivale prezasićene metalne čvrste otopine i metastabilne slitine. To je bio drugi uređaj te vrste u svijetu. Dvije godine ranije izrađen je takav uređaj na Faculté de Sciences, Université de Paris-Sud. Već početkom 1969. sam objavio prve rezultate u J. Appl. Phys. i do kraja godine još tri rada te sam uslijed toga 1970. dobio Republičku nagradu iz znanosti za mladog znanstvenika. Uz tolike rezultate nije bio problem napisati doktorski rad i obraniti ga 1972.



*Uređaj za ekstremno brzo hlađenje*



*Ekperimentalna postava: argonska boca, uređaj, vakuumsko zvono, jedinica za grijanje*

### **Nakon doktorata nastavili ste istraživanja u području fizike čvrstog stanja. Gdje ste se sve usavršavali?**

Ubrzo nakon obranjenog doktorata dobio sam skromnu stipendiju za postdoktorski studij u Francuskoj, te sam 1973. otišao u najveći francuski znanstveni institut CEA Saclay-Paris, gdje sam ostao dvije godine. Već nakon tri mjeseca rada u Saclayu sam objavio znanstveni rad te su mi nakon toga ponudili da potpišem ugovor o radu na dvije godine kao “inozemni suradnik” što je značilo i dobra financijska sredstva, puno veća od skromne stipendije s kojom sam jedva sastavljao kraj s krajem. Nakon povratka sam nastavio znanstveno raditi na IFS-u, kao i svi ostali čvrstostananci u radnom odnosu na FZ-u i u sljedećih petnaest godina sam objavio preko četrdesetak znanstvenih radova.

### **Godine 1991. ste se uselili u novu zgradu Fizike i osnovali sa suradnicima Laboratorij za mikrostrukturalna ispitivanja materijala s najsuvremenijom opremom za istraživanja u području mikrostrukture i nanostrukture materijala.**

Useljenje u novu zgradu Fizike me podsjećalo na useljenje na IFS. Tako sam ponovo sudjelovao u useljavanju u novu zgradu, postavljao instrumente i praktički počinjao eksperimentalna istraživanja od početka. O svojoj zgradi su fizičari FZ-a sanjali godinama. Već početkom osamdesetih je IFS postao “pretijesan”. Kako za razliku od FZ-a na IFS-u nije bilo restrikcije u zapošljavanju mladih znanstvenika, broj se toliko povećao da je počelo nestajati prostora što se uspjelo riješiti izgradnjom nove zgrade Fizike, koja je završena 1991., na prostoru južno od IFS-a. Svečano otvorenje je bilo te godine. Na Fiziци nije bilo znanstvene opreme jer se znanstveni rad odvijao na IFS-u, te je sva znanstvena oprema bila IFS-ova. Igrom slučaja se izgradnja Fizike poklopila s raspadom bivše Jugoslavije, te su bile prekinute mnoge veze s Beogradom, između ostalog i financijske, te se sredstva, koja su se po administrativnoj inerciji izdvajala za znanstveni rad, više nisu prosljeđivala u Beograd, već su se akumulirala na posebnom računu u Hrvatskoj. Veliki dio tih sredstava je dodijeljen Fiziци, te su nabavljeni mnogi vrhunski instrumenti, među njima i Jeolov

200 kV visokorazlučujući transmisijski elektronski mikroskop (tada nije bilo boljeg na području bivše Jugoslavije) te Philipsov rendgenski difraktometar za polikristalne uzorke. Ta dva instrumenta su činila osnovu *Laboratorija za mikrostrukturna istraživanja* kojeg sam osnovao. Niz godina je bio pokazni laboratorij za mnoge delegacije koje su dolazile na Sveučilište, što nas, koji smo tamo radili, baš i nije oduševljavalo jer su te posjete remetile naš tekući znanstveni rad. Tadašnji predsjednik Hrvatske, Franjo Tuđman, je osobno prisustvovao svečanom puštanju mikroskopa u rad simboličnim uključanjem visokog napona.



*Radna ukupa uz JEOLOV mikroskop: Antun Tonejc; Anđelka Tonejc; Silvija Gradečak (profesorica na National University of Singapore (NUS)); Igor Derđ (redoviti profesor na Sveučilištu u Osijeku).*

S tehnike ekstremno brzog hlađenja tekućih metala i slitina za dobivanje prezasićenih metalnih čvrstih otopina i metastabilnih slitina prešao sam na tehniku dobivanja takvih materijala pomoću ekstremno energijskog drobljenja materijala pomoću kugličnog mlina, a ujedno smo tom tehnikom ušli u područja nanomaterijala. Prvi rad iz tog područja objavio sam 1991., te su, kao u slučaju ekstremno brzog hlađenja, daljnji radovi slijedili vrlo brzo. To je uočeno i prilikom dodjeljivanja mi godišnje nagrade HAZU-a 2007. iz područja matematičkih, fizičkih i kemijskih znanosti za *“značajna dostignuća u istraživanju novih slitina, faza, faznih pretvorbi u mikrostrukturama i nanostrukturama uzoraka pripravljenih u posebno ekstremnim uvjetima”*.

**No, čini mi se da ni preseljenje u nove prostore ni nabava opreme nije bila bez poteškoća.**

Počela je utrka s vremenom jer se već naslućivala devalvacija dinara, što bi značilo da radi toga neće biti dovoljno sredstava za kupnju deviza te bi se moralo odustati od nabave, praktički svih uređaja. Tada naravno nije bilo elektronske pošte za komunikaciju i nabavu proforma faktura, jedini način je bilo korištenje obične pošte, fiksnog telefona i telefaksa, koji je IFS imao i zahvaljujući susretljivosti Čedomila Vadle, tada direktora IFS-a, mogli smo koristiti telefax i samo zahvaljujući tome, moglo se relativno brzo razmjenjivati dokumente i doći do potrebnih proforma faktura. Završetak izgradnje zgrade Fizike se vremenski poklopio s agresijom JNA na Hrvatsku tako da se opremanje znanstvenom i nastavnom opremom te preseljenje s Marulićevog trga (praktikum, biblioteka, bogata zbirka pokusa za predavanja, arhiva FZ-a, itd), odvijalo u dramatičnim okolnostima koje su uključivale i uzbune u Zagrebu. Znalo se dogoditi da su kamion ili osobni automobil, koji su prevozili stvari bili na putu za Fiziku kad je počela zračna uzbuna. Moralo se stati nasred ceste i otići u najbliže sklonište. Nakon prestanka uzbune nastavljen je put prema

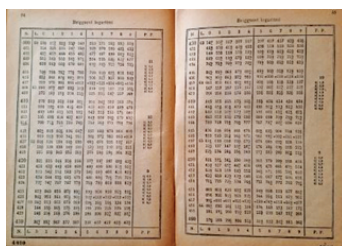
Horvatovcu. Nakon što je stigla oprema pojavio se problem instalacija jer strani serviseri nisu imali hrabrosti doći u Zagreb budući da je Hrvatska tada bila ratna zona. Primjerice Jeolov serviser se ipak na kraju usudio doći u Zagreb, ali je svakodnevno odlazio na noćenje u Čateške toplice (za Japan Slovenija nije bila u ratnoj zoni!) i svakodnevno se javljao supruzi u Tokio.

### **Kada uspoređujete svoj znanstveni rad s početkom rada na IFS-u i kasnije na Fizici, koje ste najveće razlike tada uočavali?**

Nedostatak PC-jeva za pisanje se nije toliko drastično osjećao jer smo se više-manje svi dobro služili pisaćim strojevima, ali najveća razlika je bila u načinu obrade rezultata. Primjerice, danas možete dobiti rezultat množenja primjerice  $6.6543 \cdot 8.9653$  pomoću kalkulatora na mobitelu, a ostale računске operacije, uključujući trigonometrijske funkcije na najjednostavnijim džepnim kalkulatorima, dok početkom šezdesetih nisu bili dostupni nikakvi kalkulatori, ni džepni ni stolni. Sve računске operacije su se morale obavljati “pješice”. Na računanje se gubilo puno vremena. Postojala su pomoćna sredstva, današnjim studentima potpuno nepoznata, odnosno zaboravljena. Za izračunavanja reda veličine na jednu decimalu kod množenja, dijeljenja i potenciranja, koristili smo logaritamsko računalo ili pojednostavljeno “šiber”, a za dobivanje rezultata na četiri decimale bilo je potrebno koristiti logaritamske tablice. Početkom šezdesetih na drugoj godini su studenti fizike čak morali polagati kolokvij iz korištenja “šibera” pa tako i ja. U početku, kao student, sam ga koristio samo za osnovne operacije, a kasnije kao asistent sam koristio bolji kojim se moglo, primjerice, vaditi i korijene kao npr.  $(1 - x^2)^{1/2}$  te računati sin i tg kuta. S prvim džepnim kalkulatorom sam se sreo 1974. kad sam bio na postdoktorskom studiju u Saclayu. Naime 1972. se pojavio na tržištu prvi džepni kalkulator za znanstvenike HP-35 od Hewlett-Packarda. Bio je pravo čudo za tadašnje vrijeme. Moglo se čak računati linearnu regresiju kroz 10  $(x, y)$  točaka. Cijena je bila u visini jedne plaće asistenta u Saclayu, ali HP je ponudio popust od 50 %. Mnogi smo ga kupili i osobno sam ga koristio još mnogo godina nakon povratka s postdokorskog studija. Naravno, ne treba ni spomenuti da su i instrumenti postali s godinama sve bolji i bolji (a naravno i skuplji). Tako je meni primjerice početkom sedamdesetih za snimanje jedne rutinske rendgenske difrakcijske slike i obradu rezultata trebalo minimalno tri do četiri dana, dok je danas potrebno manje od sata.



*šiber*



*logaritamske tablice*



*HP-35*

### **Objavili ste u koautorstvu i samostalno niz vrijednih znanstvenih radova iz područja eksperimentalne fizike čvrstog stanja. Obavljali ste i niz dužnosti na fakultetu. Na što biste se posebno osvrnuli?**

Od dužnosti koje sam obavljao najviše mi je ostalo u sjećanju obavljanje funkcije predstojnika FZ-a (1996. – 2001.). Mislim da sam tu dužnost obavljao savjesno i korektno.

Nipošto ne bih spominjao pojedine radove, već dvije velike grupe onih koji su proizašli koristeći dvije ekstremne metode za dobivanje novih materijala. Bio sam prvi na području srednje Europe koji je koristio tehniku ekstremno brzog hlađenja iz tekućeg stanja i



objavio prvi rad 1969., a druga grupa radova se odnosi na tehniku ekstremnog energijskog drobljenja materijala s prvim objavljenim radom 1991. i bio prvi na području bivše Jugoslavije koji je primijenio tu tehniku. Međutim meni je osobno najdraži *Rječnik kristalografije, fizike, kondenzirane tvari i fizike materijala: englesko-hrvatski, hrvatsko-engleski*, kojeg sam objavio u koautorstvu sa Stankom Popovićem iz FZ-a PMF-a i Milicom Mihaljević s Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje, u izdanju Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje u kojem smo obradili 1667 naziva i uz svaki dali detaljan opis. Kako je nastao taj rječnik? Godinama smo kolega Popović i ja primjećivali da studenti prilikom korištenja engleske literature kod pisanja seminara i diplomskih radova koriste nazive, koje u nedostatku prikladnog rječnika, sami izmišljaju. Da bih pomogao studentima sam 2008. na kraju svojih skripata *Fizika nanomaterijala za studente 4. g.* dodao kratak rječnik. Bilo je u početku oko 110 naziva čiji broj se godinama povećavao i do 2011. se popeo na preko 1000 naziva. To nas je navelo da se time ozbiljno pozabavimo i objavili smo rječnik 2014. u kojem je uz svaki naziv dan detaljan opis. I dandanas kada pišem neki znanstveni ili stručni tekst na hrvatskom koristim se ovim Rječnikom.



*U funkciji predstojnika FZ-a Antun Tonejc predaje prigodan poklon Boranu Leontiću prigodom njegovog odlaska u mirovinu 1998.*



*Rječnik*

### **Ako usporedite istraživanja u početku vaše znanstvene karijere i one pred kraj, što biste spomenuli kao najkarakterističnije?**

Već sam spomenuo razlike u računanju nekad i danas, ali ono što mene kao eksperimentalnog fizičara upravo “boli” je kad vidim da se zadnjih tridesetak godina studenti sve više odlučuju studirati i baviti se teorijskim znanstvenim radom. Očito je komotnije sjediti pokraj računala i koristiti razne softverske metode nego se u laboratoriju baviti mjerenjima koja ponekad zahtijevaju “rovovski” posao. Ali meni je eksperimentalna fizika uvijek bila na prvom mjestu i kad bih ponovo studirao i bavio se znanstvenim radom opet bih izabrao eksperimentalnu fiziku čvrstog stanja.

### **Hvala Vam na spremnosti za razgovor za MFL u kojem ste i objavljivali znanstveno-popularne radove za učenike. Biste li bili tako ljubazni da uputite poruku učenicima koje zanima prirodoslovlje, a posebno fizika.**

Ako volite fiziku i radite posao koji nikada ne može biti dosadan, u kojem svaki dan donosi nešto novo, jer ćete morati mjeriti odnosno istraživati stvari koje nitko do tada nije izmjerio ili promatrao, bez obzira da li se radi o dalekim svemirskim objektima ili ako treba proniknuti u nano svijet, fizika je pravo mjesto za vas. Ako uz to još imate sklonost prenositi znanje mlađim generacijama, kao što sam i ja imao, onda je sveučilišna karijera, koja sadrži i znanstvena istraživanja i nastavnu komponentu, nešto čemu treba težiti.