



Đuro Drobac, eksperimentalni fizičar u području magnetskih svojstava tvari

Od izrade diplomskog rada do “graditelja” osjetljivih uređaja
za mjerenje magnetskih veličina



Ana Smontara

U godini kada obilježavano 75 godina izlaženja Matematičko-fizičkog lista (MFL) zamolili smo za razgovor dr. sc. Đuru Drobca s Instituta za fiziku (IF), našeg poznatog znanstvenika u proučavanju magnetskih svojstava tvari. Svoja istraživanja provodi vrlo osjetljivim uređajima za mjerenje magnetskih veličina induktivnim metodama, koje razvija i gradi još od studentskih dana.

Đuro Drobac rođen je 1954. u Komajima, općina Konavle. Osnovnu školu pohađao je u Čilipima, a gimnaziju u Dubrovniku. Diplomirao je inženjerski smjer fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF) u Zagrebu 1981. Odmah nakon toga se zaposlio na Institutu za fiziku Sveučilišta (danas IF). Doktorirao je 1987. (mentor prof. dr. sc. Emil Babić), a 1998. izabran je u zvanje višeg znanstvenog asistenta, 2000. u znanstveno zvanje znanstveni suradnik, a 2004. u znanstveno zvanje i na radno mjesto viši znanstveni suradnik. Nakon umirovljena 1. rujna 2021. nastavlja sa znanstvenim istraživanjima na IF-u u okviru infrastrukturnog projekta Kriogenog centra IF – KaCIF financiranog iz EU fondova.

Objavio je u autorstvu/koautorstvu pedesetak originalnih znanstvenih radova od kojih se ističu: *Critical exponents from high-precision ac susceptibility data*, J. Magn. Magn. Mater., 159 (1996) i *On the determination of the Curie temperature from ac susceptibility measurement*, J. Magn. Magn. Mater., 183 (1998) objavljeni samostalno, te u koautorstvu s najbližim suradnicima Đ. Drobac, Ž. Marohnić, *Multipurpose measuring device based on ac susceptometer*, Fizika A, 8 (1999), te Đ. Drobac, Ž. Marohnić, I. Živković, M. Prester, *The role of lock-in phase setting in ac susceptibility measurement*, Review of scientific instruments, 84 (2013). Višegodišnja eksperimentalna istraživanja Đ. Drobca u sinergiji sa Ž. Marohnićem na zahtjevnim eksperimentalnim istraživanjima magnetskih faznih prijelaza i K. Uzelac u razumijevanju teorijske strane faznih prijelaza, M. Prestera u području visokotemperaturnih supravodljivih materijala te dr. sc. Željka Bihara bivšeg doktoranta IF-a i registriranog EU patentnog zastupnika te bivšeg djelatnika IF-a, rezultirala su time da je IF dobio 2016. američki patent “Cryostat with PTR cooling and two stage sample holder thermalization” izumitelja M. Prestera i Đ. Drobca.

Đuro Drobac pasionirani je popularizator znanosti, kojemu su u fokusu interesa prirodne znanosti, posebno povijest fizike. Dobar je poznavatelj Galilejeva života i djela (tzv. slučaja Galileo), Nikole Tesle, ... Održao je brojna znanstveno-popularna predavanja u školama za učenike svih uzrasta diljem Hrvatske. Sudjelovao je u predavanjima i pokaznim eksperimentima na Otvorenim danima IF-a, Ljetnoj školi mladih fizičara, te prigodom posjeta učenika i studenata (pa i inozemnih) laboratorijima IF-a.

Rodeni ste u Komajima (Konavle), a osnovnu i srednju školu završili u Dubrovniku. Koja Vas lijepa sjećanja vežu uz to razdoblje? Tko je pobudio Vaš interes za prirodoslovlje, posebice fiziku?

Da, rođen sam u tom najjužnijem dijelu Hrvatske. Tada je to bio ruralni kraj, gdje se teško živjelo, uglavnom od nešto sitne poljoprivrede. Život je bio skučen, znanja je bilo malo. Otac me učio nekim vještinama nužnim za seoski život, ali je poticao svaku moju kreativnost. Zahvalan sam mu što je shvatio da dolaze vremena brzih promjena (tada je baš u Konavlima spojen zadnji dio Jadranske magistrale, a počeo se graditi i novi aerodrom) i da bez novog znanja nema života i napretka i što je, najviše koliko je mogao, poticao i podupirao moje školovanje. Prva četiri razreda sam pohađao u mom selu, a sljedeća četiri u Čilipima – tri kilometra daleko. Svaki dan smo tu udaljenost, nas desetak, pješaćili do škole i natrag. Gimnaziju sam pohađao u Dubrovniku i svaki dan sam u školu putovao autobusom. Naši gimnazijski profesori su bili ugledni članovi društva i kod njih nije bilo popusta. Morali smo puno toga znati. Ali smo dobili vrlo dobar temelj za daljnje školovanje. Kada se danas osvrnem na taj dio života mogu mirno reći da smo zbilja puno truda ulagali u obrazovanje. Ali škola je meni bila i jedan pozitivan odmak od skućena svijeta u kojem sam tada živio. Volio sam knjige i volio sam čitati. Prva knjiga koju sam kupio bila je *Astronomija* Freda Hoylea, prijevod koje je izdan kod nas taman kad sam bio treći razred gimnazije. Kupio sam je od ušteđena džeparca, pomalo skrivečki, a od kolege iz razreda, Frana Luetića – kasnijeg dugogodišnjeg direktora aerodroma Dubrovnik, posudio sam mali Vegin teleskop. Još pamtim uzbuđenje kad sam kroz teleskop vidio Jupiterove satelite, a u *Astronomiji* našao Galilejevu skicu istog prizora. E tada sam odlučio da ću studirati astronomiju. Ta želja me i dovela na studij fizike u Zagrebu.

Studij fizike završili ste u Zagrebu na PMF-u. Diplomski rad izradili ste na Institutu za fiziku Sveučilišta na kojem se zapošljavate nakon obrane diplomskog rada.

I danas se sjećam doslovce svog prvog dana u Zagrebu. Taj početak nije bio baš lijep. Iz toplog i sunčanog juga došao sam u velik i nepoznat grad, tmuran i maglovit. No, dobio sam smještaj u studentskom domu, pa se bar oko toga nisam trebao brinuti. Ni sam početak studija nije bio baš lagan. Predavanja, pogotovo iz matematičkih kolegija, bijahu dosta apstraktna, a naši kolege koji su završili MIOC u Zagrebu su briljirali u našim očima. Ali ubrzo smo i mi ostali “pohvatali konce”. Studiranje fizike nije bilo lako. Literatura je bilo malo i bila je vrlo teško dobavljiva. Bilo je dobrih predavača, ali i loših. Svatko je predavao svoje, a nama je bilo ostavljeno da te “otoke” upotunimo i sami izgradimo cjelinu fizike. Ali teško da bi edukativni proces mogao biti gladi i sustavniji. PMF je bio velik, trom sustav, elitistički uspostavljen, u kojem studenti nisu bili prva briga. Deset godina nakon početka studija postao sam asistent iz Opće fizike i studenti su mi dolazili s istim problemima s kojima se i moja generacija borila. Toplo se nadam da je edukativni proces na Horvatovcu danas puno, puno bolji. Kad sam položio zadnji ispit došao sam na IF kod tada mladog, ali vrlo cijenjenog eksperimentalca dr. Emila Babića, kojeg sam poznavao od ranije, sa željom da kod njega napravim diplomski rad. Upravo je tada počinjao okupljati grupu mladih ljudi. Kod njega su već bili asistenti Jovica Ivkov i Željko Marohnić. Znao sam da se oni bave proučavanjem transportnih svojstava ultrabrzog kaljenih legura. U razgovoru mi je dr. Babić rekao da namjerava proširiti istraživanje u izravna mjerenja magnetskih svojstava takvih sustava. Predložio mi je da probam napraviti tzv. ac susceptometar kojim bi se mjerili fazni prijelazi II. reda i odredili tzv. kritični eksponenti, karakteristični za te prijelaze. Ja sam dakle za diplomski napravio svoj prvi susceptometar i zaista uspio dobiti kritične eksponente u nekoliko magnetskih amorfnih slitina. Dr. Babić je vrlo cijenio moj rad, možda i više nego što je taj moj početni uradak zasluživao i ponudio mi da se priključim njegovoj grupi. To sam sa zadovoljstvom prihvatio i ostao na IF-u do mirovine.

Cijeli svoj radni vijek ste proveli na IF-u i bavili se eksperimentalnim istraživanjima u raznim područjima fizike čvrstog stanja, od amorfnih materijala do visoko temperaturnih supravodiča. Koje vam je područje bilo izazovnije, te koje biste posebne doprinose vaših istraživanja, u suradnji s domaćim i inozemnim znanstvenicima, posebno izdvojili.

Početak mog rada je vezan uz fazne prijelaze u amorfnim feromagnetima. Ove termine moram kratko objasniti. Ultrabrzim kaljenjem rastaljene smjese metala dobivaju se krute slitine, ali one zadržavaju amorfnu strukturu tekuće faze. Zato se često rabe termini amorfnih metali ili čak metalno staklo. Ako u sastojcima ima magnetskih komponenti (najčešće željezo i kobalt) onda slitina može imati nekoliko vrsti magnetskog uređenja. Prirodni feromagneti imaju visoke temperature prijelaza i nije ih lako istraživati. U amorfnim sustavima moglo se praktički proizvoljno mijenjati koncentraciju magnetske komponente, a time i temperaturu prijelaza, čime je eksperimentalno istraživanje postalo puno dohvatljivije. S druge, teorijske strane, koncem šezdesetih godina Leo Kadanoff je izišao s tzv. Scaling hipotezom. Prema njegovoj ideji fazni prijelazi II. reda su određeni samo s dva parametra. Bilo je jako interesantno i važno eksperimentalno testirati te teorijske ideje, a ovi amorfnih feromagneti su bili izuzetno pogodni za to. I metoda mjerenja ac susceptibilnosti je bila također vrlo pogodna jer se mjeri u vrlo malom pobudnom polju i na niskim frekvencijama što je vrlo blisko teorijskim zahtjevima tako da se eksperimentalni podaci i teorijski modeli mogu lako uspoređivati.

Vrlo brzo smo napravili puno bolji ac susceptometar s kojim smo dobivali kvalitetne rezultate na temelju kojih smo objavili nekoliko zapaženih radova. Dali smo potpunu proceduru kojom se samo iz mjerenja ac susceptibilnosti mogu odrediti svi parametri faznog prijelaza iz feromagnetske u paramagnetsku fazu. Također smo temeljito istražili pod kojim uvjetima strukturne i kompozicijske neuređenosti, karakteristične za razrijeđene amorfne feromagnete, mogu utjecati na klase univerzalnosti faznih prijelaza. Ova istraživanja su nam pomogla da napravimo zaista vrhunski uređaj jer smo za konkretne fizikalne probleme kreirali vlastita tehnička rješenja i mjerne procedure. Moram napomenuti da je to bilo vrijeme početka upotrebe računala u eksperimentu. Nevjerojatno živo sjećanje imam na jedno nedjeljno popodne u ICTP-u u Trstu kad sam na IBM XT računalu s DOS 2.0 OS pomoću katkog Gwbasic programa dobio brojku koje je računalo "pokupilo" s jednog Keithleyevog digitalnog voltmetra. Tog trenutka sam znao da počinje sasvim novo doba eksperimentalne fizike. I zdušno sam se bacio u to. Počinjemo nabavljati uređaje s GPIB 488 komunikacijom, naše prvo APPLE IIc računalo, kreiramo vlastita programska rješenja.



Međunarodna radionica o HTS u Trstu, 1988. Slijeva su Roberto Massini, Milano; Colin Gough, Birmingham; Emil Babić, Zagreb; Günther Leising, Graz; Duro Drobac, Zagreb i P. Ganguly, Indija.

Sredinom osamdesetih godina došlo je do otkrića novih, tzv. visokotemperaturnih supravodiča, od kojih su neki imali temperature prijelaza iznad temperature tekućeg dušika, što je dalo velik zamah istraživanju jer je tehnologija tekućeg dušika vrlo dostupna. Ac susceptibilnost se pokazala izuzetno pogodna i za istraživanje supravodljivih prijelaza. Mogli smo mjeriti temperaturu prijelaza, kritične struje, dubinu prodiranja. Tada se silno tražio materijal sa što većom temperaturom prijelaza, a se susceptibilnost je bila jedno od odlučujućih svojstava. Na tim smo problemima dodatno unaprijedili naš uređaj dodavši plug-in kartice za brzu digitalizaciju signala čime smo zapravo mogli mjeriti histereze u malim poljima (tzv. *minor loops*). Tada smo već imali verziju uređaja s vrlo velikom osjetljivošću pa smo mogli istraživati i druge magnetske sustave. Surađivali smo s drugim institutskim grupama; sa Silvijom Tomić i njenim suradnicima na istraživanju organskih supravodiča; s Mirom Očkom na intermetalici i njihovim magnetskim stanjima, pa na relaksacijama u rutenokupratima; s Ivicom Živkovićem koji se priključio našoj grupi; s Mirtom Herak na novim materijalima otkrivenim početkom 2000-ih, koji su imali egzotična niskotemperaturna magnetska stanja; s Emilom Babićem i njegovim suradnicima na visokocentropijskim slitinama. Želio bih posebno izdvojiti rad kolega Prestera, Marohnića i mene na novim generacijama lijekova protiv anemije. Još u đачko doba sam smatrao da bi znanstveno istraživanje trebalo rezultirati ne samo povećanjem znanja o nečemu, nego i nekom novom tehnologijom ili procedurom u primjeni. Zato sam vrlo rado prihvatio poziv na suradnju od farmaceutske kompanije na istraživanjima lijekova baziranih na magnetskim nanočesticama. Iako su to dijelom bila rutinska mjerenja mi smo u njima našli znanstvenog interesa i objavili vrlo zapažen rad o tome. Ta istraživanja bi trebala nastaviti jer slutim da bi magnetske nanočestice mogle imati ulogu u transportu lijekova, a možda i u kontroli funkcija stanične opne.

Na kraju bih još izdvojio naš rad na istraživanju novih materijala unutar velikog europskog projekta novog fuzijskog reaktora. No, prvo kratko objašnjenje kako je do toga došlo. Nakon ulaska Hrvatske u EU kolega Tonči Tadić je počeo voditi preliminarne razgovore s grupom hrvatskih znanstvenika s idejom da se priključimo tom velikom europskom projektu. Mi smo u tome našli vrlo zanimljivo područje istraživanja strukture čelika koji se kane upotrijebiti za spremnike. Kolega Prester je došao s idejom da bi se jedna stara metoda mjerenja magnetske relaksacije tzv. MAE (*Magnetic After Effect*) mogla biti vrlo korisna. Naši partneri iz Belgije su nam jasno rekli da bi trebalo napraviti uređaj koji bi na visokim temperaturama mjerio dinamiku domenskih zidova. Iskreno su nam priznali da oni to nisu uspjeli napraviti. Uspjeli smo napraviti uređaj kojim smo mogli mjeriti MAE od sobne temperature do 1100 K. O tome smo objavili dva vrlo zapažena rada o migraciji ugljika u čelicima.

Vi ste poznati kao graditelj instrumenata. Taj vaš posao je imao i komercijalni dio. Koliko znam, postoji i patent povezan s time.

Prva razmišljanja o tome su se javila krajem osamdesetih. Tada su na ICTP-u u Trstu organizirali jednu međunarodnu radionicu o visokotemperaturnoj supravodljivosti, a nas su pozvali da donesemo susceptometar za osnovnu karakterizaciju uzoraka koje su tamo kanili napraviti. Uređaj je tamo izazvao zanimanje i sjećam se da su nas kolege iz Milana i s Instituta "Jožef Štefan" tražili da i njima napravimo slično.

Tek dosta godina kasnije smo shvatili da imamo uređaj koji bi zaista mogao biti komercijalni proizvod. No za taj korak ima dosta dodatnih uvjeta. Izrada uređaja (zajedno sa svim uputama), instalacija i trening korisnika, održavanje, rezervni dijelovi, robustan softver koji će izdržati sve korisnike "inventivnosti"; zatim jedan potpuno novi svijet odnosa s državama i njihovim propisima, bankama. Kolega Prester je tu dao ogroman doprinos. Bez njega našeg komercijalnog iskoraka ne bi bilo.

Ponekad u znanstvenoj literaturi naiđem na članak s rezultatima mjerenja obavljenim na našem uređaju. Moram reći da je posebno zadovoljstvo vidjeti da negdje i u svijetu netko dobro i kvalitetno radi na uređaju kojeg smo mi napravili i uz kojeg stoji ime naše

zemlje (ma koliko to nekome bilo patetično). Često bismo dobili pitanje može li naš uređaj raditi i bez tekućeg helija. To je bio okidač da počnemo razmišljati o konstrukciji posebnog dewara koji bi, pomoću tekućeg dušika zadržao sve dobre karakteristike našeg uređaja, a ipak postizao niske temperature do par kelvina. Naš nekadašnji kolega dr. sc. Željko Bihar (registrirani EU patentni zastupnik) je puno pomogao da se dewar patentira. Prototip je napravljen u Končaru, a testiran je u okviru projekta KACIF. Ispunio je sva očekivanja. Ideja je da se u njega mogu ugraditi razna korisnička rješenja (ac susceptometar ili što drugo). Nažalost, stjecajem niza okolnosti, taj dio nismo stigli ostvariti.



Prilikom instalacije susceptometra na Saha institute of nuclear physics, Kolkota, Indija, 2008. Slijeva su M. Prester, prof. R. Randganathan i D. Drobac.

Pored znanstvenih istraživanja bili ste aktivni u obrazovanju novih naraštaja mladih fizičara, vođenjem vježbi poglavito iz opće fizike za studente diplomskih studija fizike, mentorstvom/komentorstvom kod izrade diplomskih radova. Koje od tih edukativnih aktivnosti su vam bile posebno motivirajuće?

Obrazovnu djelatnost sam uvijek smatrao izuzetno bitnom. Nimalo nije dovoljno biti dobar fizičar, to je samo preduvjet. Pedagog mora imati bar dva dodatna dara. Mora biti dobar govornik, znati slagati rečenice koje, kako volim reći, imaju subjekt i predikat. I mora znati preseliti se u svijet onog koji ne zna i naučavati iz te pozicije. Takvih ljudi je malo. Jedanput mi je kolega Berislav Horvatić rekao da je otišao s predavanja jednog nobelovca jer je to bilo neslušljivo. Svakakvih predavača sam imao, neki bi došli, nezainteresirano izgovorili svoje, neki bi se baš trudili da studenti nakon predavanja ostanu potpuno zblenuti, a neke, npr. prof. V. Šipsa je bio pravi užitek slušati. Kako sam često zamišljao kakav bi predavač bio, tako sam prihvatio ponudu prof. B. Leontića da držim vježbe iz kolegija Opća fizika. Dvije generacije sam proveo kroz kolegij. Imao sam dodatnih koristi od toga. Shvatio sam da nešto dubinski razumijem tek kad sam znao odgovoriti na sva zakučasta pitanja koja su studenti postavljali. I puno sam poboljšao svoj izgovor. Kasnije sam studentima držao predavanja o eksperimentalnim metodama u istraživanju magnetizma. Svim mladim ljudima preporučio bih da probaju edukaciju, ali da to iskoriste i za vlastito napredovanje. Mnogi ljudi su sudjelovali u našem obrazovanju; njima to ne možemo vratiti, ali možemo novim generacijama. Pripadam onoj staroj generaciji koja je smatrala da je znanje općeljudska kategorija i da ga nesebično treba prenositi dalje.

Pasionirani ste popularizator znanosti, u fokusu Vašeg interesa su prirodne znanosti općenito, a posebno Vas zanimaju teme iz povijesti fizike. Poznavatelj ste Galilejeva života i djela, a i tzv. slučaja Galileo. Vi ste tijekom te godine održali brojna predavanja poglavito u školama diljem Hrvatske.

Kad sam se počeo baviti istraživanjem magnetskih svojstava tvari nametnulo mi se nekoliko pitanja iz čiste znatiželje. Magnetizam je poznat barem dvije i po tisuće godina, a

od velikih povijesnih problema fizike je zadnji objašnjen tek razvojem kvantne fizike. Pa sam počeo malo proučavati povijest magnetizma i vidio koliko je to vrlo poučna priča. Mi često uzimamo stvari “zdravo za gotovo”, ali do današnjeg stupnja znanja put je često dug i trnovit, a nadasve zanimljiv. Zato sam napravio jedno opsežno predavanje o povijesti otkrića u magnetizmu. Dobro je primljeno pogotovo što se može ilustrirati zanimljivim pokusima. Na to su se nadovezala i neka druga predavanja; o Zemljinom električnom i magnetskom polju, pa o Nikoli Tesli i njegovu ogromnom doprinosu čovječanstvu.

Za Galilea sam se skoro slučajno zainteresirao. Jedanput sam bio svjedokom neke kratke rasprave o njemu u kojoj se sudionici nisu mogli složiti ni o činjenicama. U meni se tad probudio onaj znanstvenički nerv i rekoh sam sebi: “Ne smije biti neslaganja oko činjenica. Idem vidjeti što se tamo dogodilo.” Vrlo brzo sam shvatio da je u zapadnoj kulturi to jedan od izuzetno važnih događaja, o kojemu je napisano bar pet tisuća knjiga, a da od toga kod nas praktički nema ništa. Takve stvari su često žalosna posljedica činjenice da smo mali narod i jezik, previše zatvoreni samo u svoje. Zato sam odlučio bar nešto od toga prenijeti i našoj javnosti. Nabavio sam puno literature o tome, knjige s originalnim dokumentima i napravio opsežna predavanja koja sam držao na dosta mjesta. Sudjelovao sam i u snimanju dokumentarnog filma “Zvezdani glasnik” redateljice Nane Šojlev, kojim je HRT obilježila međunarodnu godinu fizike 2009.



Tribina Znanost uživo HPD-a u knjižnici B. Ogrizovića u Zagrebu, 2019.

Držao sam predavanja u Tehničkom muzeju, na tribini Priroda uživo HPD-a, dosta sam sudjelovao u Otvorenim danima IF-a, na Ljetnoj školi, priređivao razne pokazne eksperimente. Puno mladih ljudi je prošlo kroz naš laboratorij. Sjećam se kad bismo pred đacima uronili napuhani balon u tekući dušik pa bi se on prvo smežurao, a onda ponovo pomalo puhao. I onda im objasniti fenomen i gledati na njihovim licima kako im dotad čudna, mrtva slova $PV/T = \text{const.}$ dobivaju smisao i najednput postaju živi događaj kojeg razumiju. Takve stvari nemaju cijenu.

I ovdje bih dodao nekoliko načelnih stvari. Popularizacija znanosti, znanstvenih istraživanja i rezultata je vrlo važna. Jer znanje je presudno. Da posudim misao iz jedne stare knjige – *Nisu isti onaj koji zna i onaj koji ne zna*. Nikakve “rubne znanosti”, nikakvo šarlatanstvo, nikakva vjerovanja. Znanje! I ovdje bih poručio mladima da drže popularna predavanja i prenose znanost širokoj populaciji, ali tako da nakon svakog predavanja sudionici odu s nečim novim naučenim. Samo tako će javnost biti na našoj strani.

Na kraju, hvala Vam u ime čitatelja i u osobno ime na razgovoru i molim Vas da uputite poruku učenicima koji bi htjeli po završetku srednjoškolskog obrazovanja upisati studij fizike, sa željom da budu nastavnici fizike ili da se bave fizikom kao znanost.

A što reći mladima? Ako se odlučite studirati fiziku zadržite radoznalost cijelog života. To je pokretač svega. Fizika jest težak studij, ali danas uz obilje svih dostupnih tehnologija puno lakši nego u naše vrijeme. I obilno će se vratiti sav trud. Razumjeti zbivanja u svijetu je svojstvo koje se stekne i na studiju fizike. Neprocjenjivo.