



Ivo Batistić, istaknuti teorijski fizičar kondenzirane tvari

Ana Smontara



Ivo Batistić

Ivo Batistić je istaknuti teorijski fizičar kondenzirane tvari, redoviti profesor u trajnom zvanju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (PMF) u Zagrebu. Njegova znanstvena istraživanja pokrivaju neka od najzanimljivijih domena suvremene teorijske fizike kondenzirane tvari, a ostvarena su, kako kroz vrlo intenzivna razdoblja međunarodne suradnje, tako i kroz širok raspon stalne suradnje s domaćim teorijskim i eksperimentalnim fizičarima. Njegovi su rezultati postigli zapaženi međunarodni odjek, vrlo visokom citiranošću pojedinih radova, realiziranih, kako u okviru višegodišnjeg boravka i kasnije suradnje s National Laboratory u Los Alamosu, tako i u istraživanjima ostvarenim u Hrvatskoj u suradnji s domaćim i inozemnim znanstvenicima.

Ivo Batistić radi na modeliranju pojava i materijala, kao što su kvazi-jednodimenzionalni materijali, visokotemperaturni supravodiči, kvazikristali i neuređeni organski materijali. U svojim radovima služi se aproksimacijom srednjeg polja, aproksimacijom nasumične faze, varijacijskim metodama, numeričkim simulacijama, te od samog početka DFT (Density functional theory) računima. Osim u znanstvenim radovima, Ivo Batistić ostavio je dubok trag i kao član znanstvene zajednice, odgojivši niz fizičara i znanstvenika kao mentor/komentor i kao profesor na PMF-u, gdje je dugi niz godina predavao fiziku čvrstog stanja, uvod u statističku fiziku, baze podataka, numeričke metode, hidrodinamiku, te naprednu kvantnu fiziku na diplomskom i poslijediplomskom studiju. U primijenjenim istraživanjima sudjelovao je u izradi studije o procjeni vanjskih opasnosti za lokaciju nuklearne elektrane Prevlaka, te je koautor bibliografije *Hrvatska znanstvena bibliografija* (bib.irb.hr) koja dobro pokriva tekuća znanstvena istraživanja i znanstvenu publicistiku hrvatskih istraživača zaposlenih u hrvatskim visokoškolskim ustanovama i istraživačkim institutima.

Rođeni ste u Splitu, osnovnu školu i gimnaziju polazili u Splitu, Tuzli i Zagrebu. Molim Vas opišite Vaša sjećanja iz tog vremena.

Moja sjećanja iz osnovne i srednje škole su malo zbrkana. Stjecajem okolnosti, otac je mijenjao mjesta zaposlenja, pa smo se morali seliti, a ja mijenjati škole i prilagođavati se novoj sredini. Pa čak i kada se nismo selili, npr. vrijeme pohađanja gimnazije u Tuzli, mijenjali su se u školi profesori fizike. Teško da bih i jednog od njih mogao izdvojiti. Ipak, nastavnici su bili dovoljno susretljivi na moje zanimanje za matematiku i fiziku pa su mi dopustili pristup kabinetu i literaturi koja je tamo bila širom dostupna. To sam obilno koristio. Išao sam na natjecanja iz matematike i fizike. Zbog loših priprema, na početku nisam imao neki značajniji uspjeh, ali kako je vrijeme odmicalo, bio sam sve bolji i bolji. U četvrtom razredu gimnazije uspio sam doći do saveznog natjecanja iz fizike, za što mi je od velike pomoći bio Matematičko-fizički list, koji je bio dostupan u kabinetu iz matematike, a na koji sam bio i pretplaćen. Bilo mi je drago čitati tekstove i/ili rješavati ponuđene zadatke iz matematike i fizike.

Studirali ste fiziku na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Kako je tekao Vaš studij?

Mislim da sam oduvijek želio studirati fiziku. Danas učenici u školi redovito dobivaju izvrsne ocjene iz svih predmeta, čini mi se nekako bez velikog truda. U vrijeme kada sam bio učenik nije bilo tako. Bilo je tek nekoliko izvrsnih učenika. Imao sam pretežno vrlo dobre ocjene, ali iz matematike i fizike same petice! To mi je dobro išlo, a i volio sam to raditi. Treba li reći da sam pored ostalog volio listati i čitati knjige od mog oca s njegovog studija kemije. I tako sam odlučio studirati fiziku, a da nisam uopće razmišljao gdje ću se poslije zaposliti, ili kolika će mi biti plaća, ili hoću li moći od toga živjeti. A studij fizike išao mi je dobro. Kao da “moram raditi” ono što sam oduvijek i želio raditi. Bilo je i ponekih predmeta koje baš nisam volio. Tijekom treće godine studija roditelji su mi se našli u financijskim teškoćama, pa sam se prijavio na natječaj za stipendiju Instituta za fiziku Sveučilišta (IFS), koji je ono vrijeme bio dio Zagrebačkog Sveučilišta. Kako sam bio jedan od boljih studenata, dobio sam stipendiju. To je odredilo moj daljnji tijek studiranja i znanstvene karijere. Studij sam brzo završio i kao stipendist IFS-a usmjerio se na fiziku kondenzirane tvari. Poslijediplomski studij, u moje vrijeme, bio je u okviru Zagrebačkog Sveučilišta. Dakle, upisivao sam studij u zgradi Rektorata, a i magistarska diploma se tamo dodjeljivala. To je naravno bila posebno impresivna ceremonija. Ali, moram priznati, da me sam poslijediplomski studij nije toliko dojmio. Skok iz gimnazije na studij fizike bio je puno impresivniji i nekako uzbudljiviji.

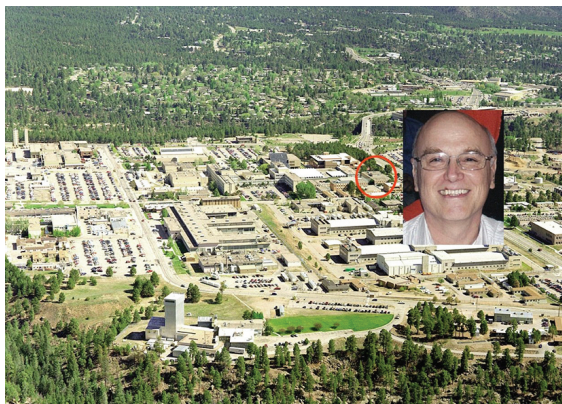
Vaša znanstvena karijera započela je na Institutu za fiziku Sveučilišta (IFS) u grupi profesora Slavena Barišića, pod čijim ste mentorstvom diplomirali, magistrirali i doktorirali u području fizike čvrstog stanja. Zašto ste odabrali baš to područje?

Diplomski rad sam izradio pod vodstvom profesora Slavena Barišića, koji je tada znanstveno radio u okviru IFS-a. Pri izradi diplomskog rada puno mi je pomagala i savjetovala me doktorica Katarina Uzelac koja je s profesorom Aleksom Bjelišem (budući dekan PMF-a i rektor Zagrebačkog Sveučilišta) bila dio manje grupe znanstvenika okupljene oko prof. Barišića na teorijskim istraživanjima svojstava kvazijednodimenzionalnih materijala i faznih prijelaza. Motiv za ova istraživanja bila je mogućnost otkrića visokotemperaturne supravodljivosti. Nakon diplome, kao stipendist, dobio sam posao na IFS-u, te postao dio grupe, a visokotemperaturna supravodljivost je odista otkrivena unutar sljedećih 5–6 godina, ali u klasi kvazidvodimenzionalnih materijala. Kao što sam već rekao, to je bila tema znanstvenih istraživanja grupe prof. Barišića u kojoj sam se našao kao mladi fizičar i istraživač. Fizika je kao vrsta obrta, ali na “malo višoj razini”. Kada postanete šegrt kod postolara, učite raditi cipele, ili ako ste šegrt kod pekara učite peći kruh. Tako je to i kod istraživanja u fizici. Studij fizike u Zagrebu je jako dobar – tu se nauče mnoge stvari, ali to nije dovoljno. Trebao sam izučiti “obrt znanstvenog rada” tako da budem sposoban raditi na samoj fronti istraživanja, a koja je ista i za fizičare u Americi i za one u Hrvatskoj. Ali naravno, područje istraživanja lančastih kvazijednodimenzionalnih materijala je zanimljivo samo po sebi. U tom su području radili i dobitnici Nobelove nagrade iz fizike J. R. Schrieffer i J. Bardeen te, za ono vrijeme, budući nobelovci A. J. Heeger i A. A. Abrikosov, kao i mnogi drugi ugledni fizičari i kemičari. Ime “kvazijednodimenzionalni” je jako čudno – ono znači da se radi o materijalima koji imaju jako anizotropna električna svojstva: dobro vode struju u jednom smjeru, a vrlo slabo u druga dva. Zbog ove “jednodimenzionalnosti” podložni su mnoštvu faznih transformacija, pojavljuju se strukturne nestabilnosti – periodična deformacija kristalne rešetke, valovi gustoće naboja, valovi spinske/magnetske gustoće, itd. Ali možda bi se to moglo i ovako reći. U fizici postoje “modni trendovi” u istraživanju često potaknuti

nekim zanimljivim eksperimentalnim otkrićima. U to vrijeme, kada sam bio mladi istraživač, bilo je “moderno” istraživati kvazijednodimenzionalne materijale.

Poslijedoktorsko usavršavanje proveli ste u Los Alamosu nacionalnom laboratoriju u SAD-u. Kojim ste se znanstvenim pitanjima tada bavili?

Jedan od uglednijih fizičara koji je radio u području kvazijednodimenzionalnih materijala bio je A. R. Bishop. On je ujedno bio voditelj grupe za istraživanja kondenzirane tvari i statističke fizike pri teorijskom odsjeku Los Alamos nacionalnog laboratorija u New Mexico (SAD). On je kasnije postao i šef teorijskog odsjeka, što je pozicija na kojoj su bili mnogi slavni fizičari i nobelovci. Kod njega sam dobio postdoktorsku poziciju.



Slika 1. Los Alamos nacionalni laboratorij u SAD-u. U krugu je izdvojen teorijski odsjek u kojem se usavršavao mladi fizičar Ivo Batistić.

Los Alamos (slika 1) je ogromni laboratorij koji zapošljava desetak tisuća djelatnika, većinom visoko obrazovanih. Historijski Los Alamos je bio tajni laboratorij gdje su za vrijeme drugog svjetskog rata konstruirane i izrađene atomske (nuklearne) bombe. Međutim kada sam bio tamo, bilo je mnoštvo različitih grupa koje su radile na razno-raznim istraživanjima. Neka od tih su bila vojne prirode i, naravno, za mene stroga tajna. Bio sam uključen u javno dostupna istraživanja u Bishopovoj grupi. Otkriće visokotemperaturne supravodljivosti u kupratima je bilo poznato već tri godine, te je izazvalo lavinu (modni trend) istraživanja baš u tom području. Pa smo se i mi priključili tom trendu. Los Alamos je odlično mjesto za ambicioznog mladog teorijskog fizičara. Naime, u laboratoriju postoji i veliki broj eksperimentalnih grupa, te kada s njima surađujete, onda su vam poznati rezultati njihovih mjerenja i prije nego što budu objavljeni u nekom znanstvenom časopisu. Dapače, u poziciji ste da zajedno s njima objavite eksperimentalno-teorijski rad o tome. Osim toga postoji veliki broj kemijskih grupa koje rade na sintezi novih materijala. Ako i s njima surađujete onda ste u poziciji da budete prvi koji će napraviti teorijski model onoga što se u tim materijalima događa. Nadalje, postoji i veliki broj fizičara-teoretičara, s kojima možete razgovarati, surađivati i tako naučiti nove metode, ali usvojiti nove koncepte i ideje. Los Alamos je i “prometno mjesto” gdje dolazi veliki broj posjetitelja iz mnogih Sveučilišta diljem Amerike i cijeloga svijeta, što također pruža mogućnost da se nauči nešto novo ili čak uspostavi znanstvena suradnja. Dakle, područja istraživanja u koja sam bio uključen su bila iz visokotemperaturnih supravodiča, te u kvazijednodimenzionalnoj inačici visokotemperaturnih supravodiča: lancima građenim od prijelaznih metala, a međusobno

povezanih halogenim elementima, te još nekim čisto teorijskim istraživanjima kao npr. jako elektron-fononsko međudjelovanje (fononi su kvanti pobuđenja titranja kristalne rešetke, tako npr. zvučni valovi u kristalu su vrsta fononskih pobuđenja).

Nakon poslijedoktorskog usavršavanja vratili ste se u Zagreb. Kako ste se prilagodili tadašnjem domaćem sustavu znanosti?

Trebalo je dosta prilagođavanja: upravo je bio počeo rat u Hrvatskoj. Raketiran je toranj na Sljemeni, raketirani su Banski dvori, da ne nabrajam sve ostale nevolje te vrste. Kolege s kojima sam radio i surađivao prije odlaska na poslijedoktorsko usavršavanje bili su zauzeti drugim aktivnostima (npr. prof. Barišić je bio savjetnik kod predsjednika Tuđmana). Pomalo sam se osjećao izgubljeno – kao riba na suhom. Ali, nakon nekog vremena sam se prilagodio, nastojao biti “koristan”, i surađivati s kolegama. Tako sam se prihvatio i nekih neistraživačkih aktivnosti, npr. organiziranja natjecanja iz fizike na nivou Hrvatske, kao predsjednik povjerenstva, zatim sam bio tajnik Hrvatskog fizikalnog društva kada je ono dobilo svoje prve internet-stranice, u vrijeme kada je Internet u Hrvatskoj bio tek u povojima. Potom sam se prihvatio organiziranja elektroničke škole fizike radi populariziranja fizike u srednjoškolskom obrazovanju. U suradnji s kolegicom J. Stojanovskij i uz podršku Ministarstva znanosti i obrazovanja počeli smo raditi na izradi Hrvatske znanstvene bibliografije (bib.irb.hr), bazi podataka znanstvenih, ali i svih ostalih radova znanstvenika u Hrvatskoj. Možda bih u to razdoblje mogao uključiti i moj prelazak s Instituta za fiziku (slika 2) na PMF, gdje sam postao profesor. Iako sam i prije sudjelovao u nastavi studenata fizike, tada sam se tome posvetio ozbiljnije i s puno većom odgovornošću.



Slika 2. Ivo Batistić u svom uredu.

U svojoj znanstvenoj karijeri objavili ste u koautorstvu velik broj znanstvenih radova. Možete li izdvojiti barem neke koji su Vam posebno prirasli srcu te obilježili i usmjerili Vašu znanstvenu karijeru?

Lista koautora na radovima je velika i moram priznati da neke od njih nisam osobno niti upoznao. Međutim, veliki je broj i onih s kojima sam neposredno surađivao. Prvo bih izdvojio svog mentora, Slavenu Barišića, koji je to bio i ne samo po pitanjima fizike. Druga osoba, meni posebno važna, a s kojom u zadnje vrijeme puno surađujem, je Eduard Tutiš. Kada sam bio mlad fizičar, surađivao sam s Aleksom Bjelišem i L. P. Gor'kovim (radi se o L. D. Landauovom učeniku i vrlo poznatom fizičaru kojeg je, po mom mišljenju, nepravo mimošla Nobelova nagrada za fiziku). Izdvojio bih dosta citiran rad nastao u koautorstvu s velikim francuskim fizičarem J. Friedelom. Naravno, trebam spomenuti mog šefa i mentora na postdoktorskom usavršavanju u Los Alamosu, A. R. Bishopa. Tijekom gotovo trogodišnjeg boravka u Los Alamosu surađivao sam s velikim brojem fizičara i kemičara, pa bih samo spomenuo sadašnjeg šefa teorijske grupe za fiziku kondenzirane tvari A. Saxena. Kada sam se vratio u Hrvatsku, surađivao

sam i s mnogim eksperimentalnim fizičarima: László Forró, dugogodišnji šef grupe za istraživanja novih materijala na Sveučilištu u Lausanni, Švicarska, te Ana Smontara koja je bila dugogodišnja voditeljica istraživačke grupe za istraživanje transportnih svojstava kvazikristala i kompleksnih metalnih sistema na IF-u (slika 3 i slika 4).



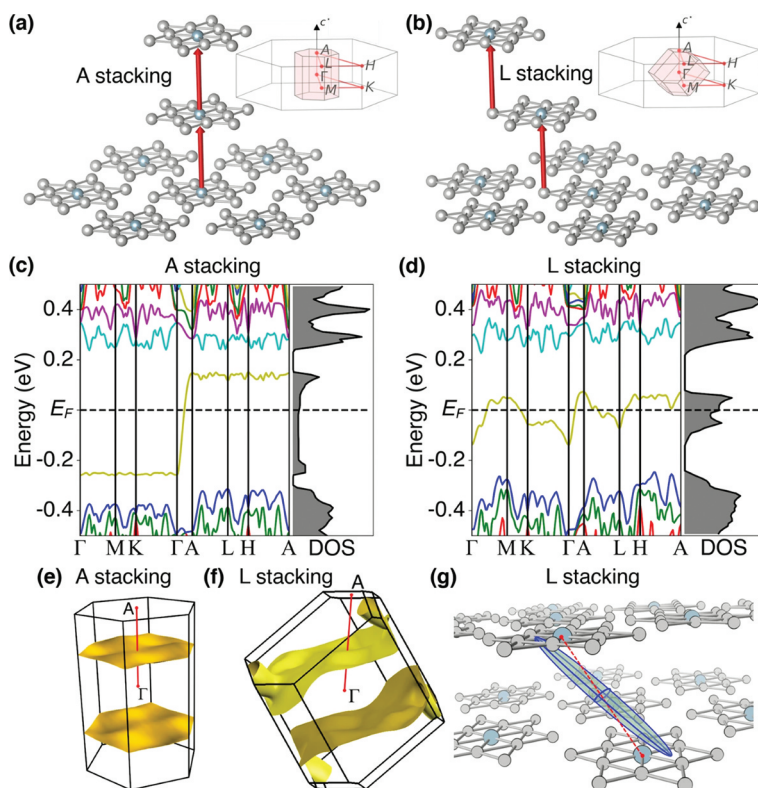
Slika 3. Suradnici Laboratorija za fiziku transportnih svojstava (voditeljica A. Smontara) ispred IF-a, tijekom međunarodnog znanstvenog skupa “Frontiers in complex metallic alloys”, na kojem je sekcijom “Leontich Anniversary” obilježena 80-ta obljetnicu rođenja Borana Leontića, profesora emeritusa na PMF-a u Zagrebu. Prvi red slijeva nadesno: Jovica Ivkov, Ivo Batistić, Petar Popčević, Denis Stanić, Jagoda Lukatela; drugi red slijeva nadesno: Ante Bilušić, Eduard Tutiš, Ana Smontara, Boran Leontić i Željko Bihar.



Slika 4. Ivo Batistić – predavanje na C-MAC Days 2014.

I na kraju, ali ne manje važno, želio bih istaknuti znanstvenu suradnju s O. S. Barišićem koji se uhvatio nezahvalnog posla da bude ravnatelj Instituta za fiziku. Teško mi je izdvojiti radove koji su obilježili i usmjerili moju znanstvenu karijeru. Postoje radovi koji su mi srcu prirasli zbog originalnosti ideja ili metoda ili dobivenih rezultata, pa čak i onda kada nisu izazvali veliki odjek u znanstvenim krugovima. Tako npr. naveo bih dosta citirane radove koji se bave analizom EXAFS (Extended X-ray absorption fine structure) mjerenjima u visokotemperaturnim supravodičima. U EXAFS-mjerenjima se pobuđuju jako vezani elektroni koji se nalaze u energijskim stanjima niske energije, te se kao sferni valovi šire oko atoma i međusobno interferiraju. Taj proces ovisi o energiji rendgenskih zraka s kojima se elektroni pobuđuju. Moj doprinos je da sam analizu prilagodio situacijama kada se atomi u kristalu gibaju anharmonično. Nadalje, želio bih spomenuti i jedan čisto teorijski rad u kojem se razmatra jako međudjelovanje elektrona i titranja rešetke (fonona). Naime, to je jedan od “vječnih” problema fizike kondenzirane

tvori, nešto što se ne može izračunati egzaktno – jer je jako komplicirano. Navedimo da je pojava “klasične” supravodljivosti posljedica elektron-fononskog međudjelovanja, dok se oko uzroka pojave visokotemperaturne supravodljivosti još uvijek raspravlja, tj. ne postoji opće prihvaćena teorija. Jedan je od recentnijih radova, koji već sada izaziva pažnju znanstvenih krugova, a plod je suradnje većeg broja znanstvenih grupa iz Švicarske, Njemačke i Hrvatske.



Slika 5. Slojasti materijal $1T\text{-TaS}_2$: na slici je prikazana vrpčasta struktura elektronskih energija i pripadne gustoće stanja, (c) i (d), te fermijeva površina, (e) i (f), koji se dobiju za dva različita načina slaganja slojeva ravnina, (a) i (b). Na slici (g) je elipsoid električne vodljivosti koji pokazuje smijer najbolje vodljivosti.

On i oslikava način funkcioniranja znanstvenih istraživanja kakva imamo danas i kakva će vjerojatno biti u budućnosti. A to je da se u jednoj znanstvenoj grupi izrađuju uzorci (kristali), druga radi mjerenja jedne vrste, treća mjerenja druge vrste, te neka n -ta grupa, recimo, teorijska grupa koja radi na analizi tih rezultata i njihovom razumijevanju. U ovom slučaju mi iz Zagreba smo bili ova teorijska grupa. Radi se o mjerenjima električne vodljivosti u slojevitom materijalu $1T\text{-TaS}_2$, a koji je već godinama predmet istraživanja fizičara (slika 5). Razlog tom interesu je bogat fazni dijagram (temperatura naspram tlaka) u kojem postoji mnoštvo različitih faza: od supravodljivosti do više različitih vrsta valova gustoće naboja. U jednoj od tih faza dolazi do deformacije kristalne rešetke u obliku Davidove šesterokutne zvijezde, te kao rezultat ove deformacije materijal počne bolje voditi električnu struju u smjeru okomitom

na inače vodljivu ravninu. Mjerenja su rađena u Švicarskoj u grupama koje su vodili profesori László Forró i Ana Akrap, a teorijski proračuni (izračun elektronskih energija) provedeni služeći se teorijom funkcionala gustoće naboja, u literaturi poznatoj kao DFT (Density functional theory), u Zagrebu (Eduad Tutiš, Ivo Batistić) (slika 6).

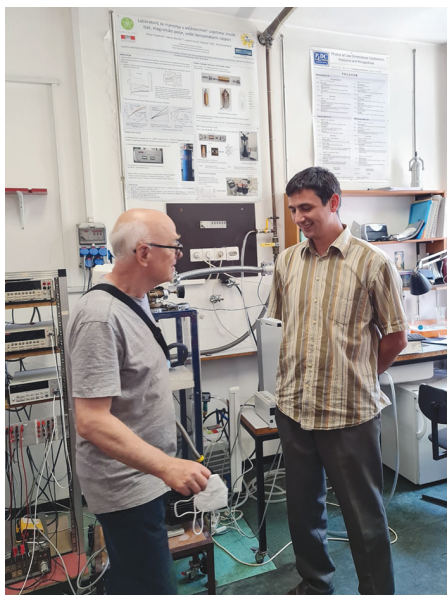


Slika 6. Ivo Batistić, László Forró i Eduard Tutiš, tijekom diskusije na Institutu za fiziku.

Vaša znanstvena istraživanja se nastavljaju i nakon umirovljenja. Istraživač-suradnik ste netom započetoj znanstvenog projekta Instituta za fiziku.



Slika 7. Ana Smontara, Ivo Batistić i Petar Popčević u obilasku računalnih servera na IF-u.



Slika 8. Ivo Batistić i Petar Popčević tijekom diskusije u Laboratoriju za istraživanja transportnih svojstava IF-a.

Točno, dugogodišnju suradnju s grupom Ane Smontare u području istraživanja kvazikristala i kompleksnih metalnih sistema u okviru Europske mreže suradnje CMetAC nastavljam i proširujem aktivnim uključivanjem u istraživanja fizikalnih svojstava planiranih upravo započetim projektom Hrvatske zaklade za znanost "Interkalirani dihalogenidi prijelaznih metala" voditelja Petra Popčevića (slike 7 i 8). Dihalkogenidi prijelaznih metala su kvazidvodimenzionalni sustavi karakterizirani snažnim vezanjem unutar slojeva te slabim silama među slojevima koje omogućava kalanje kao i dobivanje ovih materijala u obliku jednog sloja slično grafenu. Planiraju se detaljna eksperimentalna mjerenja koja će biti praćena teorijskim proračunima i modeliranjem da bi se dobio detaljan uvid u sustav radi moguće primjene.

Osim u svojim znanstvenim radovima ostavili ste dubok trag kao član Hrvatskog fizikalnog društva u obrazovanju učenika i nastavnika fizike, svojim radom u povjerenstvima za natjecanja iz fizike od općinskih do međunarodnih, olimpijada iz fizike, popularnim predavanjima na ljetnim školama mladih fizičara i seminarima za nastavnike fizike. Iz široke lepeze tih aktivnosti opišite Vaš posebno zanimljiv doprinos.

Da, sudjelovao sam u organizaciji natjecanja iz fizike, kao autor zadataka, ili kao onaj koji ih ispravlja, ili na organizacijskom nivou. Važno je poticati i nagrađivati nadarene učenike. Tako sam za Međunarodnu olimpijadu iz fizike 1985. godine bio dio grupe koja je pripremala zadatke. Mene je zapalo da priredim zadatak iz mehanike. Dosjetio sam se problema "gravitacijske pračke", koja se koristi kod lansiranja letjelice na udaljene planete Sunčevog sustava kako bi se letjelica učinila lakšom (manje goriva), a udaljeni planeti dostupnijim. Dakle ako letjelica na svom putu prolazi pored nekog bližeg planeta, onda susret letjelice i tog planeta može poslužiti kako bi letjelica dobila dodatnu brzinu s kojom bi mogla dosegnuti i udaljene planete. Stvar je malo zbunjujuća: kako je to moguće? Ali ako se stvari u glavi dobro poslože stvar postaje vrlo jasna. Naime, gibanje letjelice oko bližeg planeta po hiperboličkoj putanji može se promatrati kao beskontaktni sudar "beskonačno teškog planeta" i "zanemarivo teške" letjelice. I onda se dogode stvari koje se inače dogode kada lagana lopta udari u prednji dio auta koji se kreće velikom brzinom: lopta dobije veliku brzinu. Kada se to jednom shvati, onda je lakši dio pretočiti to razumijevanje u zadatak.

Hvala Vam na vrlo zanimljivom razgovoru, koji je zbog epidemioloških uvjeta voden online, ali nije bio manje uzbudljiv od razgovora licem u lice. I na kraju molim Vas da uputite poruku učenicima, a napose onima kojima će fizika biti i životni poziv.

Ima nešto što bih želio uputiti učenicima, ali i nastavnicima i roditeljima. Za fiziku je jako važno biti radoznao. Uvijek se pitati "zašto nešto postoji i kako to radi". Nema glupih pitanja. Npr. jeste li se pitali zašto ne možemo proći kroza zid? Zašto je nebo plavo? Zašto postoji svemir? Ako vam netko kaže da su to glupa pitanja, ne dajte se obeshrabriti, jer baš ona mogu dovesti do novih otkrića i novih spoznaja.

Školstvo mora biti takvo da se zna što nudi, uzima kao dragocjeni dar, a ne da bude odbojna obaveza.

Mudrost nije rezultat školovanja, već cjeloživotnog nastojanja da ju se stekne.

Albert Einstein