



## Slobodan Milošević, hrvatski eksperimentalni fizičar atomske i molekularne fizike

Nikša Krstulović



Slobodan Milošević

usavršavao se na brojnim uglednim međunarodnim institucijama kao što su Max-Planck-Institut für Strömungsforschung u Göttingenu, Dipartimento di Fisica, Sveučilište u Pisi u Italiji, Niels Bohr Institute (kao gostujući profesor) i Ørsted Laboratoriet u Kopenhagenu. Početkom 1989., po povratku s postdokorskog usavršavanja započeo je izgradnju novog laboratorija na Institutu koji je prerastao u Laboratorij za vremensku lasersku spektroskopiju i kasnije u Laboratorij za lasersku spektroskopiju hladne plazme, u kojem je u razdoblju 1989.–2019. izrađeno šest doktorskih disertacija i 14 diplomskih radova pod njegovim mentorstvom. Bio je ravnatelj Instituta za fiziku, predsjednik Hrvatskog vakuumskog društva i voditelj znanstvene sekcije Hrvatskog fizikalnog društva. Vrlo je aktivno sudjelovao u radu institucijskih, državnih i međunarodnih znanstvenih tijela. Ostvario je vrlo uspješnu domaću i međunarodnu znanstvenu suradnju u području istraživanja i primjene raznih vrsta plazmi te je bio voditelj dvadesetak domaćih i međunarodnih kompetitivnih projekata. Održao je brojna zapažena predavanja na međunarodnim konferencijama, od kojih je mnoge i sam organizirao. Do sada je objavio preko 120 znanstvenih radova s međunarodnom recenzijom te se posebno istaknuo kao popularizator fizike, i znanosti općenito, putem mnogih popularnih predavanja, radionica i popularizacijskih događaja gdje se posebno ističe organizacija Svjetske godine fizike 2005.

### Što Vas je zainteresiralo na studij fizike i općenito prirodoslovlja? Koliko je u tom procesu bilo važno osnovnoškolsko odnosno srednjoškolsko obrazovanje?

Prvo je, rekao bih, bilo najvažnije obiteljsko okruženje. Moj otac (Bogomir) je bio inženjer agronomije i entomolog, a tetak (dr. Dražen Poje) meteorolog, obojica prirodnjaci i veliki radnici. Sigurno su utjecali na mene, nenametljivo, npr. preko knjiga. Jedna, koju sam dobio kao dječak (Lancelot Hogben, *Sye o matematičarima*, Mladost, Zagreb, 1970.) me je privukla matematici. U osnovnoj školi (OŠ Petra Preradovića u Zagrebu) s lakoćom sam svladavao matematiku i fiziku. Sjećam se i tehničkog odgoja, koji me privlačio, vannastavnih aktivnosti, radionice Narodne tehnike, npr. izrade raketa. Na kraju osnovne škole primio sam nagradu nastavničkog vijeća škole za odlično učenje i vladanje, knjigu *Gigant atom*, u izdanju izdavačke kuće Naprijed, 1960., koju mi je uručio moj razrednik Krešo

Tomić. Sad kad ju pogledam, jasno mi je zašto sam postao atomista. Bila je tu još i knjiga *Svjetlost i vid*, tada meni vrlo značajna. Kod izbora srednje škole odabrao sam Matematičku gimnaziju, Zagreb, tada u Sutlanskoj ulici bb. Godine 1972. nije trebalo biti odlikaš s 5.0 za upisati se, kao što je to danas. Kada sam izrazio želju za tu školu, roditelji su me u potpunosti podržali i to je bilo to. To je zaista bila super škola s odličnim profesorima. Fiziku mi je predavala Gordana Pintarić, prof., koja mi je bila i razrednica. U drugom polugodištu četvrtog razreda predavala je iz svoje bilježnice, izvan službenog programa, povijesni prikaz o razvoju kvantne fizike, što je tada meni bilo zanimljivo 'kao krimić'. Pod tim dojmom za maturalni rad iz fizike odabrao sam temu *Disperzija svjetlosti*, prevodio tekst s ruskog, i učio teoriju. U to vrijeme dvojio sam se između fizike i matematike. Matematika je egzaktna, što mi se sviđalo, ali fizika mi je djelovala više primjenjivom što je na kraju prevagnulo. Matematičko-fizički list sam primao, ali, nažalost, nisam puno čitao. Dva puta sam riješio Nagradni natječaj na omotu lista i oba puta dobio za nagradu (istu!) knjigu. Zbog kasnijeg termina za prijemni ispit za PMF za fiziku sam prvo primljen i upisao Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, no već nakon tjedan dana, kad su došli rezultati prijemnog s PMF-a, upisao sam fiziku.

### **Kako ste se odlučili za specijalizaciju u eksperimentalnoj fizici ioniziranih plinova?**

Tijekom cijelog studija fizike, jedini koji je nas studente na četvrtoj godini odveo u laboratorij i pokazao što radi, bio je dr. sc. Goran Pichler. Taj pristup me privukao i spektroskopija koja je izgledala kao nešto primjenjivo i korisno, zanimalo me je još od ranije, a naravno, i to što sam, na javnom natječaju s više kandidata, dobio stalni posao odmah nakon studija. I to mi je bilo vrlo važno. Tada još nisam znao gotovo ništa o fizici ioniziranih plinova.

### **Kako se formirala Vaša grupa tijekom zadnjih četrdesetak godina?**

Moj početak je bio u Odjelu fizike ioniziranih plinova, gdje sam napravio diplomski, magistarski i doktorski rad u laboratoriju kod dr. sc. Gorana Pichlera (danas akademik). Nakon doktorata (1986.) moj mentor mi je rekao da ne mogu ostati u tom laboratoriju jer je on predviđen za kolegu koji je došao prije mene, tako sam krenuo tražiti druge mogućnosti. Otišao sam na postdoktorski studij od dvije godine (1987. – 1988) u Göttingen na MPI für Strömungsforchung, i vratio se s napisanim planom hipotetske suradnje s Njemačkom. Ideje su bile istraživanje novih molekula stvorenih u molekularnim snopovima (Spektroskopija Van der Waals molekula u supersoničnim snopovima). Prvi prijedlog projekta nikad nisam realizirao, ali kasnije tokom godina uspio sam nabaviti dosta opreme s tog prvog popisa: pulsni laser, roots pumpu, box-car usrednjivač. Spletom okolnosti tada (početkom 1989.) se oslobodio prostor u trećem krilu odlaskom RIZ-a. Dobio sam prostor (sada je to seminarska soba na prvom katu trećeg krila), susretljivošću tadašnjeg direktora dr. sc. Č. Vadle, pokupio stari vakuumski monokromator koji već dugo nitko nije koristio. Na hodniku sam našao staru difuzijsku pumpu koja je dugo tamo stajala i dobio neka-ko (susretljivošću profesora B. Leontića), 5 kV DC izvod napona s nekog starog uređaja, megaomske stare otpornike korištene za lučne izboje, sakupio čelične cijevi iz tadašnje tvornice "Jedinstvo", i uz pomoć naše radionice, složio prvu vakuumsku komoru za VUV spektroskopiju u kojoj sam montirao kvarcnu sapnicu s elektrodom za argonski efuzivni snop, sve bez posebnog financiranja. Rezultat je bio da sam uspio snimiti VUV spektar izboja u snopu argona na oko 100 nm. I tada, krajem 1989. G. Pichleru i meni prihvaćen je projekt iz FP 2 programa EU, kojim smo nabavili pulsni laser i opremu za pulsnu spektroskopiju. I tako je krenulo. Kasnije je ta komora poslužila za prve eksperimente s laserskom ablacijom. EU projekt je vodio profesor Rudolf Dören, iz Göttingena, moj domaćin na postdoktorskom usavršavanju, veliki prijatelj i donator opreme Instituta. Kasnije nam je donirao vakuumske komore i difuzijske pumpe. U monografiji Instituta se može naći detaljniji odgovor na ovo pitanje za prvih tridesetak godina. Zadnjih desetak godina sam se počeo baviti plazmenim mlazovima na atmosferskom tlaku. U svemu tome sam nailazio na sjajne suradnike u Ljubljani (grupa profesora Mirana Mozetiča) i Budimpešti (dr. King Kutasi).

## Na Institutu za fiziku postavili ste desetak eksperimentalnih postava. Na kojim ste sve primjenama radili u svojoj znanstvenoj karijeri i koji vam je eksperiment bio najzanimljiviji?

Eksperimentalne postave su bile mahom popraćene s mentorstvima diplomskih radova, doktorskih radova i usavršavanjima postdoktoranada. Teško je izdvojiti neki posebno jer su svi bili zanimljivi, ali posebno oni koji su bili i najkompleksniji, posebno oni koji se nisu mogli obavljati bez pomoći računala. Npr. kad smo upravljali s tri sinkronizirana lasera, kombinirali lasersku ablaciju i optičku emisijsku spektroskopiju ili “cavity ring-down spektroskopiju” ili kad smo napravili linearni maseni spektrometar na bazi mjerenja vremena preleta. Time-of flight (diplomski Eduard Vrbaneč, 2000.), automatizacija CRDS metode (diplomski Svemir Rudić, 1998.) i automatizaciju CRDS eksperimenta (diplomski Nino Čutić, 2006.). Doktorski radovi Irene Labazan (2002.) i Nikše Krstulovića (2010.), Zlatka Kregara (2013.), Marijana Biščana (2013.), Vedrana Šantaka (2015.) ili posljednji Deana Popovića kad je laserom inducirani proboj u atmosferskom snopu helija sinkroniziran s visokonaponskim probojem 2019. Postdoktorand Rok Zaplotnik (2014. – 2015.) je dao velik doprinos u primjeni jednoelektrodnih atmosferskih plazmenih mlazova. Marijan Biščan se također iskazao kao postdoktorand u BICRO projektu u primjeni atmosferskih mlazova za obradu tekstila, kad smo kroz plazmeni mlaz provlačili predivo (2016. – 2017.). Tu sad ulazim u opasnu zonu da nekoga izostavim, a ima niz ljudi i grupa s kojima sam surađivao i van Instituta za fiziku, u primjenama u tehnologiji obrade hrane, tekstila, u stomatologiji, npr. grupe prof. Zorana Hercega, PBF Zagreb, prof. Sanja Ercegović-Ražić, TTF, prof. Zrinka Tarle, SFZG. Tu je i grupa prof. Krunoslava Miroslavljevića iz Slavonskog Broda na primjenama u poljoprivredi. Ono što ostaje trajno, to su naši zajednički objavljeni radovi, a oko svakog se može napraviti podulja priča.



Instalacija lasera organskih boja na Institutu za fiziku u Centru za napredne laserske tehnike i Grupe za plazmena i laserska primijenjena istraživanja (PLASAR). Slijeva: dr. sc. Mario Rakić, dr. sc. Dean Popović, dr. sc. Slobodan Milošević i dr. sc. Nikša Krstulović.

## Koliko Vam je boravak u inozemstvu bio važan za znanstveno usavršavanje? Koja ste znanja i iskustva ‘donijeli’ u Hrvatsku?

Boravio sam ukupno više od pet godina u inozemstvu, u Göttingenu, Pisi i Kopenhagenu, okvirno od kraja 1986. do kraja 1995., s prekidima jer je postojala stalna veza s IF-ovim laboratorijem, tako da nisam ni trenu bio odvojen od institutskih događanja. Slučajno, gradovi specijalizacija su i gradovi i Sveučilišta u kojima je nastajala moderna fizika, idealni za usavršavanja i boravak s obitelji. Donio sam iskustva o atomskim i molekularnim snopovima, o sudarima, o diferencijalnim udarnim presjecima, o masenoj spektrometriji, o vakuumskim tehnikama, o kriogenim tehnikama i jedan novi pogled na fiziku koji u Zagrebu nisam mogao dobiti. Ništa manje važne su i dugogodišnje suradnje koje

su uslijedile s prof. Rudolfom Dührenom, prof. Maria Allegrini i prof. Jens Olaf Pepke Pedersen. Od prof. Dühren (nažalost prerano preminulog) sam naučio i puno o planiranju, strategijama, o tome kako funkciniraju Max-Planck instituti, što mi je kasnije pomoglo u vođenju našeg IF-a.

### **Što biste preporučili mladim srednjoškolicima u smislu važnosti STEM područja?**

Poruka može biti: kontinuirano se nečim bavite, svako područje danas silno brzo napreduje. STEM je ključan za opstanak čovječanstva. Tu su problemi kojima se vrijedi posvetiti.

### **Imate li poruku za mlade fizičare, što biste im preporučili u smislu odabira tema istraživanja?**

U znanosti je danas ključna interdisciplinarnost. Treba započeti s bilo čime u fizici za što vam se ukaže prilika, dobro to savladati i zatim surađivati s ljudima u drugim područjima, koji su također znalci u svojim (jer fizika ipak nije sve). I sva druga područja silno napreduju, od medicine do poljoprivrede. Stalno treba učiti nove stvari, a fizičari relativno brzo mogu prelaziti iz jednog u drugo područje. Zato je dobro krenuti od fizike.

### **Što smatrate najvećim otkrićem u fizici u zadnjih pedesetak godina?**

To je preteško pitanje za jednostavan i kratak odgovor. Pogledajte samo za što se daju Nobelove nagrade i koliko se život promijenio u pedeset godina. Mislim na tehnologiju života, koliko i kako brzo se samo to mijenja. Svako područje ima neka svoja dostignuća. Možda atomski laser? To dobro zvuči!

### **Kako komentirate korištenje umjetne inteligencije za generiranje znanstvenih tekstova? Možemo li uz njezinu pomoć doći do znanstvene istine? Je li to pravi put?**

Počeo sam pisati diplomski na djedovoj pisačkoj mašini, a slike sam crtao na paus papiru u tušu (1981.). Doktorat (1986.) sam pisao na Commodoru 64, računala s pet inčnom disk jedinicom i 9-igličnim printerom. Godine 1989. nabavio sam prvi AT PC kompjutor od svoje postdoktorske uštede, i koristio T3 program za pisanje, pa latex, itd. Word sam izbjegavao jer su računala još bila preslaba i spora. Radio sam svoju bazu podataka u dBaseu o prikupljenim člancima i sakupljao kopije radova u registratorima, tisuće člana. Pretraživanje i arhiviranje je bilo poseban izazov. Danas, ako nešto ne znate pitajte Google. Fantastične su nove mogućnosti. Google Scholar ili GPT chat. Mislim da treba koristiti sve što čovjek ima na raspolaganju. Naravno, s dobrim namjerama. Sigurno AI otvara sasvim nove mogućnosti, npr. za obradu mnoštva podataka, za monitoring i kontrolu eksperimenata. Naravno, uvijek u znanstvenom radu treba navesti što ste sve koristili, opisati metodologiju rada. Ne znam koji je pravi put, ali možda je to kontinuitet u radu. U svih mojih 41 godinu rada na IF-u, svake godine sam objavio barem jedan znanstveni rad u međunarodnim časopisima. I dok sam gradio laboratorij, čekao na projekte, nije bilo suradnika, mijenjao područje rada, čekalo se na isporuke opreme. Uvijek bi nešto bilo gotovo za objavljivanje. Umjetnu inteligenciju nisam stigao primijeniti, ali ideja imam.

## **Literatura**

- [1] LANCELOT HOGBEN, *Sve o matematici*, Mladost, Zagreb, 1970.
- [2] K. BÖHM I R. DÖRGE, *Gigant atom*, Naprijed, 1960.
- [3] CONRAD G. MUELLER, *Svjetlost i vid*, Mladost, Zagreb, 1972.
- [4] UR. DIJANA ĐURAN, SLOBODAN MILOŠEVIĆ, GORAN PICHLER, *Institut za fiziku, prvih pola stoljeća*, IF 2015., online
- [5] [http://www.ifs.hr/wp-content/uploads/manual/Institut\\_za\\_fiziku\\_prvih\\_pola\\_stoljeca.pdf](http://www.ifs.hr/wp-content/uploads/manual/Institut_za_fiziku_prvih_pola_stoljeca.pdf)