



## Vladimir Paar, svjetski poznati teorijski fizičar

Ana Smontara<sup>1</sup>



Vladimir Paar

Iako je već dugo u mirovini, Vladimir Paar često navraća na Fizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (PMF) u Zagrebu. Bavi se raznim područjima fizike (deterministički kaos, kompjutorski modeli regularnosti i kaotičnosti robota, supravodljivošću atomske jezgre...), ali ga mnogi studenti pamte po njegovim predavanjima, a posebno je poznat i po popularizaciji fizike i znanosti općenito. Rođen je u Zagrebu 1942. g. Diplomirao je teorijsku fiziku na PMF-u u Zagrebu, s temom iz teorijske fizike elementarnih čestica 1965. g. Magistrirao je 1969. g. i obranio doktorsku disertaciju 1971. g. s temom iz teorijske nuklearne fizike 1971. g. Od 1966. do 1975. g. bio je asistent i znanstveni suradnik na Institutu Ruđera Boškovića, a 1976. prešao je na Fizički odsjek PMF-a u Zagrebu. Godine 1980. izabran je za redovitog profesora. Godine 1988. izabran je za člana suradnika, a 1992. za redovitoga člana Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti

(HAZU). Objavio je veliki broj znanstvenih radova samostalno ili u suradnji sa svjetskim fizičarima. Tijekom svog nadasve aktivnog rada dobio je Državnu nagradu “Ruđer Bošković” za znanstvenoistraživački rad, kao nagradu “Fran Tućan” za popularizaciju znanosti, te je odlikovan Redom Danice hrvatske s likom Ruđera Boškovića. S obzirom na njegovo dugogodišnje iskustvo zamolili smo ga za razgovor, na što se vrlo rado odazvao.

### Kada i kako ste se susreli s Matematičko-fizičkim listom?

S osobitim zadovoljstvom osvrćem se na veliki jubilej Matematičko-fizičkog lista (MFL), koji mi je dao prve poticaje i užitak znanstvenog istraživanja. Prije šezdesetak godina, nakon završene osnovne škole u Samoboru, nas trojica Samoboraca krenuli smo u V. gimnaziju u Zagrebu. U živom mi je sjećanju trenutak kada je na satu hrvatskog jezika profesorica ljutito došla do mene i strogo odmjerila što to potajno gledam ispod klupe, umjesto da pratim nastavu. Bila je iznenađena kada je vidjela da zapravo kriomice čitam MFL, najnoviji broj koji sam upravo tog dana dobio, s velikim iščekivanjem. Točnije, bio sam zadubljen u tekst jednog zadatka iz matematike s pozivom učenicima da ga pokušaju riješiti i rješenje pošalju Uredništvu MFL-a. Zapravo su ti zadaci bili za mene prvi pravi znanstveni izazovi koji su me sasvim zaokupljali. Isprva sam o svakom postavljenom zadatku danima razmišljao i pokušavao ga riješiti. Bilo je i onih vrlo zahtjevnih. To su bili pravi mali znanstveni problemi, a gotovo sve sam ih uspijevao riješiti, pa čak i na nekoliko različitih načina. Moja najuspješnija

<sup>1</sup> Razgovor je vodila Ana Smontara, znanstveni savjetnik u trajnom zvanju (u mirovini), Institut za fiziku; e-pošta: [asmontara@ifs.hr](mailto:asmontara@ifs.hr).

rješenja bila su objavljivana u nekom od sljedećih brojeva MFL-a na što sam bio osobito ponosan. Počela me zaokupljati elegancija i idejno bogatstvo matematike uz intuitivno shvaćanje matematike kao osnovnog "oruđa" teorijske fizike i drugih prirodnih znanosti. Tek mnogo kasnije saznao sam da takav pogled na matematiku potječe još iz srednjovjekovne znanosti što je u 17. stoljeću sumirao Galilej.

460. Uzevši u obzir da kutovi

$$\frac{180^\circ}{7}, \frac{360^\circ}{7}, \frac{720^\circ}{7}$$

mogu biti kutovi trokuta, dokaži da je

$$\cos \frac{180^\circ}{7} \cos \frac{360^\circ}{7} \cos \frac{720^\circ}{7} = -\frac{1}{8}.$$

Imamo

$$\frac{\sin \frac{180^\circ}{7}}{\sin \frac{360^\circ}{7}} = \frac{\sin \frac{180^\circ}{7}}{2 \sin \frac{180^\circ}{7} \cos \frac{180^\circ}{7}} = \frac{1}{2 \cos \frac{180^\circ}{7}}$$

$$\frac{\sin \frac{360^\circ}{7}}{\sin \frac{720^\circ}{7}} = \frac{\sin \frac{360^\circ}{7}}{2 \sin \frac{360^\circ}{7} \cos \frac{360^\circ}{7}} = \frac{1}{2 \cos \frac{360^\circ}{7}}$$

$$\frac{\sin \frac{720^\circ}{7}}{\sin \frac{180^\circ}{7}} = \frac{\sin \frac{720^\circ}{7}}{-\sin \left( 180^\circ + \frac{180^\circ}{7} \right)} =$$

$$= \frac{\sin \frac{720^\circ}{7}}{-2 \sin \frac{720^\circ}{7} \cos \frac{720^\circ}{7}} = -\frac{1}{2 \cos \frac{720^\circ}{7}}.$$

Izmnožimo te relacije i dobijemo

$$1 = \frac{1}{-8 \cos \frac{180^\circ}{7} \cos \frac{360^\circ}{7} \cos \frac{720^\circ}{7}}, \text{ odnosno}$$

$$\cos \frac{180^\circ}{7} \cos \frac{360^\circ}{7} \cos \frac{720^\circ}{7} = -\frac{1}{8}$$

a to je upravo relacija, koju je trebalo dokazati.

Paar Vladimir

4a. r. 5 gimn. „B. Ogrizović“, Zagreb

Lijevo je kopija rješenja zadatka br. 460 iz matematike objavljenog u Matematičko-fizičkom listu šk. god. 1960. – 61.

Desno je kopija rješenja zadatka br. 196. iz fizike objavljenog u Matematičko-fizičkom listu šk. god. 1960. – 61.

196. Iz valjka visine  $H$  i polumjera  $R$  izreže se s jednog kraja koaksijalni valjak visine  $H/2$  i polumjera baze  $R/2$ . Gdje se nalazi težište tog tijela?

To je tijelo rotaciono homogeno pa se težište nalazi na osi valjka.

Masa  $\frac{1}{2} R^2 \pi H \cdot s$  donje polovice valjka ima težište u točki  $\frac{H}{4}$ . Masa

$$\left( \frac{1}{2} R^2 \pi H - \frac{1}{8} R^2 \pi H \right) s = \frac{3}{8} R^2 \pi H \cdot s$$

gornje polovice valjka ima težište u točki  $\frac{3}{4}H$ .

Sad nađemo ordinatu težišta (centra mase) tih dviju materijalnih točaka

$$Y_0 = \frac{\sum mx}{\sum m}$$

$$Y_0 = \frac{\frac{1}{4}H \cdot \frac{1}{2}R^2 \pi H \cdot s + \frac{3}{4}H \cdot \frac{3}{8}R^2 \pi H \cdot s}{\frac{1}{2}R^2 \pi H \cdot s + \frac{3}{8}R^2 \pi H \cdot s}$$

$$= \frac{\frac{1}{8}H + \frac{9}{32}H}{\frac{1}{2} + \frac{3}{8}} = \frac{13}{28}H$$

$$Y_0 = \frac{13}{28}H.$$

Ordinatu težišta tih dviju materijalnih točaka možemo naći i na ovaj način: centralna udaljenost je  $\frac{H}{2}$ , a udaljenost donje točke od težišta označimo s  $x$ .

$$\frac{1}{2} R^2 \pi H \cdot s \cdot x = \frac{3}{8} R^2 \pi H \cdot s \left( \frac{H}{2} - x \right)$$

a rješenje te jednadžbe jest:

$$x = \frac{3}{14}H$$

Sad je ordinata težišta:

$$Y_0 = \frac{1}{4}H + \frac{3}{14}H = \frac{13}{28}H$$

$$Y_0 = \frac{13}{28}H.$$

Paar Vladimir 4. a r. 5. gimn. „B. O.“ Zagreb

## **Rano je počeo Vaš interes za prirodne znanosti, posebno za fiziku.**

Prvi interes za prirodne znanosti u osnovnoj školi sam dobio od učitelja i ravnatelja Hetlera, koji mi je predavao fiziku. Iako nije bio nastavnik fizike, znao je potaknuti moju maštu za fiziku, osobito za atome. Slično je na mene utjecao i tadašnji samoborski župnik Franjo Kuharić, koji se i sam zanimao za astronomiju i fiziku. Na V. gimnaziji imao sam nekoliko inspirativnih profesora koji su formirali moj znanstveni interes. Profesor Nasurović iz matematike, profesor Kuntarić iz fizike, profesorica Heršak iz biologije i profesorica Brida iz filozofije/logike. Na prvom satu matematike učili smo iz geometrije ravninu i profesor Nasurović postavi nam sljedeće pitanje: “Na krovu sjede tri goluba i u jednom trenutku polete. Kada će se u letu nalaziti u istoj ravnini?” Jedini sam se javio i odgovorio: “Uvijek!”, i dobio svoju prvu odličnu ocjenu. Profesor Kuntarić impresionirao je profinjenošću i jasnoćom izlaganja, razgoličujući matematičku eleganciju fizikalnih zakona. Profesorica Heršak poticala je moje zanimanje za biološke procese, upozoravajući me na potrebu njihovog dubljeg razumijevanja kada je otkrila da nisam shvatio što je zapravo “disanje kod živih organizama”. A profesorica Brida usadila mi je spoznaju o ispreplitanju prirodnih znanosti s filozofijom. Tako je već pri kraju moga gimnazijskog obrazovanja moj široki znanstveni interes bio profiliran: matematika-fizika-biologija-filozofija i tom su “putanjom” nastavljene moje znanstvene i stručne preokupacije, uz sve više korištenja primjene kompjutera.

## **Kako je tekao Vaš studij fizike, a i drugih prirodnih znanosti?**

Tijekom studija teorijske fizike 1961.–1965. imao sam niz izvrsnih profesora matematike i fizike, koji su bili znanstvenici svjetske razine. Naročito je na mene utjecao profesor Gajo Alaga, koji me je usmjerio u izazovno znanstveno područje teorijske fizike strukture atomskih jezgara, iz čega sam magistrirao i doktorirao. Kao mladi fizičar prisustvovao sam predavanju koje je u HAZU održao Werner Heisenberg, jedan od glavnih tvoraca moderne kvantne fizike (Schrödinger-Heisenberg-Pauli-Bohr). Kvantna fizika vrijedi na razini atoma, a potpuno je različita od zorne klasične fizike za objekte direktno dostupne našem osjetilu i zoru. Prije svega, u kvantnoj fizici nedostaje stroga predskazivost, determinizam koji odlikuje zornu klasičnu fiziku. U prepunoj dvorani HAZU-a Heisenberg nas je iznenadio, jer nam je opsežno tumačio Ptolomejev geocentrički model planetnog sustava u kojemu Zemlja miruje, a oko nje se po vrlo složenim kombinacijama geometrijskih putanja gibaju Sunce, Mjesec i planeti. Primjerice se u tom modelu po jednoj kružnici oko Zemlje jednolikom brzinom giba jedna zamišljena točka, a oko nje po drugoj kružnici oko te pokretne zamišljene točke giba se planet ili još složenije kombinacije. U Srednjem vijeku proračun gibanja nebeskih tijela u tom matematičkom modelu bio je u skladu s dotad poznatim astronomskim podatcima. Podjednako uspješan bio je i kasniji Kopernikov heliocentrični sustav, ali i dalje opterećen nerazumljivim sustavom jednolikim gibanjima oko zamišljenih pokretnih točaka u kružnom gibanju. Da bi u 16. stoljeću mnogo preciznija astronomska opažanja Tycho Brahea pokazala odstupanja i od Ptolomejevog i Kopernikovog modela vrlo komplicirane kombinacije zamišljenih kružnih gibanja. Potom slijedi Keplerov model, pa Newtonov model i napokon njegove modifikacije u okviru Einsteinove opće teorije relativnosti. U svom predavanju Heisenberg je tada postavio retoričko pitanje: “Nismo li mi s razumijevanjem kvantne fizike u sličnoj situaciji kao srednjovjekovni znanstvenici s tada široko prihvaćenom Ptolomejevom teorijom planetarnih gibanja.” Odgovor na to pitanje Heisenberg nije dao. Kao niti Einstein kojega je mučilo neodgovoreno pitanje kako se čestica poput elektrona može gibati na razini atoma, a da nema putanju. Na razini atoma kvantofizikalna “teleportacija” je stvarnost. Svoje početne znanstvene korake nekoliko sam godina činio na Institutu “Niels Bohr” u Kopenhagenu. U istoj onoj starinskoj zgradi u kojoj se u prvoj polovici 20. stoljeća u sučeljavanjima Bohra, Heisenberga, Einsteina, Paulija i drugih znanstvenih velikana radala moderna kvantna

fizika. Teorija koja je svojim rezultatima dovela do fantastičnog razvoja znanosti i njezine primjene kao temelj 3. i 4. znanstveno-tehnološke revolucije, ali je i dalje ostala za čovjeka suštinski nerazumljiva. U raspravi na jednom seminaru dojmilo me se kada je jedan stari norveški fizičar, koji je tridesetih godina 20. stoljeća bio sudionik tadašnjih diskusija Bohra i Einsteina koji su se u jednom suglasili: da njih dvojica ne razumiju suštinu kvantne fizike, pa da niti jedan fizičar to ne razumije, pa dakle niti jedan čovjek. Tada sam shvatio da to ne treba gledati kao ograničenja nego zapravo kao uzbudljivi poticaj za ulaz u zadivljujući svijet znanosti i njenih primjena.

### **Kako je tekla Vaša znanstvena karijera?**

Djetinjstvo sam sredinom prošlog stoljeća proveo u oskudnim i nepovoljnim uvjetima, ali roditelji su me poticali da učim iako su sami imali vrlo skromno obrazovanje. Osnovnu školu pohađao sam u Samoboru, a V. gimnaziju u Zagrebu. Diplomirao sam teorijsku fiziku na PMF-u Zagrebu. Oženjen sam i otac četvoro djece, a sada i višestruki djed. Od 1980. sam redoviti profesor PMF-u u Zagrebu i od 2012. profesor emeritus Sveučilišta u Zagrebu. Godine 1992. izabran sam za akademika HAZU-a. Dobio sam državnu nagradu za značajno znanstveno otkriće i državnu nagradu za popularizaciju znanosti. Za znanstvena postignuća odlikovan sam "Redom Danice hrvatske s likom Ruđera Boškovića". Kao gostujući znanstvenik i profesor boravio sam ukupno sedam godina na uglednim svjetskim znanstvenim institutima i sveučilištima (Kopenhagen, Amsterdam, München, Köln, Mainz, Jülich, College Park-Washington, Livermore, Paris-Orsay, Oxford, Moskva-Dubna, Rio de Janeiro, Brighton, Yale, Berkeley itd.). Sa suradnicima sam objavio znanstvena otkrića iz više različitih područja: bozonsko-fermionski modeli strukture atomskih jezgara, deterministički kaos, kompjutorski modeli regularnosti i kaotičnosti robota, populacijske jednadžbe s rupama, tranzijentni kaos, metode šifriranja pomoću determinističkog kaosa, supravodljivost atomske jezgre, kompjutorski modeli dinamičkih sustava, modeli nelinearnih bioloških oscilatora, kompjutorski modeli u kliničkoj medicini, primjena fraktala u biologiji, kemiji i geografiji, novi kompjutorski algoritam GRM za istraživanje strukture humanog genoma pomoću globalne repeticijske mape, otkrića novih repeticija višeg reda (HOR) u genomima čovjeka, čimpanze, orangutana i rebus makaki, nova teorija DNA i života – genomske simetrije kao evolucijska prisila. U tim radovima dali smo i nova znanstvena otkrića i metode, stvorili nove znanstvene ideje, koje su često bile podstrek brojnim priznatim znanstvenicima i laboratorijima za njihova istraživanja. U području *nuklearne fizike* postoji Paarovo pravilo koje opisuje specifična energetska stanja atomskih jezgara; rado ističem i svoje doprinose u rasvjetljavanju utjecaja takozvanog multipletnog slabog vezanja na mehanizme vezanja unutar atomske jezgre, ili u analizi mehanizama vezanja protona i neutrona u atomskim jezgrama u svjetlu takozvanih dipolnih i kvadrupolnih međudjelovanja. Važno je *bioinformatičko otkriće* nove genomske supersimetrije u hornerin-genu u kojemu su uz moje vodstvo sudjelovali isključivo hrvatski znanstvenici, koje je u tome trenutku (2011. godina) predstavljalo jedinu u svijetu dosad poznatu genomsku supersimetriju na čak četiri razine organizacije (primarna, sekundarna, tercijarna i kvartarna). Sedam godina kasnije je skupina japanskih znanstvenika eksperimentalno potpuno potvrdila to naše otkriće te biološke supersimetrije. U istom radu objavili smo također i naše pionirsko otkriće NBPF HOR supersimetrije, za koju smatram da je ključ kognitivnih sposobnosti čovjeka, po čemu se čovjek razlikuje od svih drugih živih bića. Mislim da će u punoj mjeri značaj tog otkrića doći do izražaja u daljnjem razvoju znanosti. U *teoriji kaosa* naši su rezultati bili temelj istraživanjima kolega u slavnom IBM-u, a važan je naš doprinos i u izučavanjima kontroliranja kaosa.

Trenutno su u žarištu mog interesa znakovite i genomske simetrije koje vode povećanju stabilnosti genoma, uz korištenje moćnih matematičkih metoda teorijske

fizike. Naime, postavlja se pitanje stabilnosti DNA genoma. Otvoreno je pitanje, kako to da se u današnjem genomu čovjeka tijekom više milijarda godina evolucijskog razvoja života (a biološka evolucija temelji se na evoluciji genoma), nije povećavao nered nasumičnim mutacijama genoma. Upravo na tom pitanju nedavno smo objavili naše otkriće s novim pogledom na DNA i život, s prepoznavanjem ključne uloge genomskih simetrija kao evolucijske prisile: M. Rosandić, I. Vlahović, V. Paar, *Novel view on DNA and life – Symmetry as evolutionary forcing*, Journal of Theoretical Biology 483 (2019) 109985 (Elsevier) (<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.08.016>). Zanimljivo je sadašnje pitanje: Gdje je u tom okviru koronavirus COVID-19?

### **Poznata je Vaša uloga u popularizaciji znanosti, posebno fizike.**

Područja moga stručnog rada i znanstvenog interesa obuhvaćaju također: interdisciplinarnu vezu prirodnih znanosti, suvremena metodika nastave fizike i prirodnih znanosti u školi, školski udžbenici iz fizike, pitanja energetske strategije i fizikalna osnova klimatskih promjena, veza i prožimanje prirodnoznanstvenog, humanističkog, biomedicinskog, tehničkog i teološkog područja, i načela obrazovanja u funkciji razvoja gospodarstva i društva temeljenih na znanju. Desetljećima sudjelujem u javnim medijima i školama na popularizaciji znanosti. U nastavi na fakultetu sam studente nastojao zainteresirati za znanost, da osjete njenu privlačnost i važnost. Veliko mi je zadovoljstvo bilo kada su mnogi od njih kasnije postali vrsni profesori na školi, ili uspješni na raznim poslovima u gospodarstvu i javnim službama, a neki i vrhunski znanstvenici sa značajnim doprinosima svjetskoj znanosti. Mislim da bi u školi trebalo veću pažnju usmjeriti i na samu ličnost velikih znanstvenika i umjetnika i na njihovu širinu interesa, kao i na duboku komplementarnost znanosti, umjetnosti i humanosti.

### **Možete li uputiti poruku mladim čitateljima koji bi se željeli posvetiti znanosti?**

Albert Einstein jedan je od najvećih znanstvenika svih vremena, a njegov zet Dimitri Marianoff ovako uspoređuje dvije velike ličnosti: “Bilo je zanimljivo gledati ih zajedno – Tagore, pjesnik s glavom mislioca, i Einstein, mislilac s glavom pjesnika.”

Einsteinov sin, Hans Albert Einstein, koji je bio ugledni stručnjak i profesor hidrauličkog inženjerstva na Kalifornijskom sveučilištu Berkeley, kaže o svom ocu: “Često mi je govorio da mu je najvažnija u životu bila glazba. Kadgod je osjetio da je u svom radu došao do kraja puta ili zapao u teškoće, potražio je pribježište u glazbi i to bi obično vodilo do rješenja problema.”

Poznata je i stvarna anegdota o tom “najvećem znanstveniku među violinistima” i “najvećem violinistu među znanstvenicima”. Kada je belgijska kraljica čula da je slavni profesor došao u posjet jednom belgijskom sveučilištu, pozvala ga je da ju posjeti u Brisselu. Einstein se rado odazvao i javio kojim će vlakom stići u Brissel. Na željezničkoj stanici čekao ga je kraljičin vozač s automobilom. Vlak je stigao, ali šofer se sam vratio u dvor i izvijestio kraljicu da je iz vlaka izašao smo jedan putnik, neki muzičar. Pola sata kasnije u dvor je došetao Einstein s violinom u ruci. Iznenađena kraljica ga je upitala zašto nosi violinu, a Einstein je učtivo odgovorio: “Veličanstvo, ali ja sam mislio da ste me pozvali da Vam sviram.”