

# Naučiti se več o svetu

**Ljudje hočemo vedeti, kako vse funkcionira, od zvezd in vesolja pa do najmanjših razsežnosti, pravi prof. Anton Zeilinger z Dunaja, ki je bil s prof. Tomažem Prosenom z Univerze v Ljubljani med približno 40 udeleženci pomembnega srečanja fizikov v Mariboru**

↓ Pogled v kvantni računalnik: V sredini je videti ionsko past (celico) za pripravo ionov za kvantni računalnik. (C. Lackner)

## MARJAN LOGAR

Osrednja pozornost celotnega zadnjega t. i. božičnega simpozija v Mariboru je bila posvečena obisku in predavanju prof. Antona Zeilingerja, vodje Instituta za kvantno optiko in kvantno informacijo, člana Avstrijske akademije znanosti in profesorja na Fakulteti za fiziko Univerze na Dunaju. V svetu velja za enega najbolj uglednih eksperimentalnih fizikov na področju osnovnih raziskav v kvantni teoriji nasploh, predvsem pa na področju kvantne informacije in kvantnega računalništva.

V začetnih dneh kvantne fizike so "miselni poskusi", kot sta si jih zamišljala tudi Albert Einstein in Niels Bohr, igrali pomembno vlogo pri razpravah o njenih konceptualnih zapletih. Zaradi tehničnega napredka so takšni "miselni poskusi" lahko postali realni poskusi že od leta 1970 naprej. Obsegali so interferometrijo osnovnih valov z elektroni in nevtroni, poskuse s kvantno prepletenostjo fotonov (svetlobnih delcev) in testiranje linearnosti kvantne mehanike (znanosti, ki opisuje svet atomov in drugih osnovnih delcev). Zeilinger je v svojem predavanju predstavil tudi svoje raziskovalno delo s področja

kvantne informacije in kvantnega računalništva, ki obeta, da bo nadomestila če ne vseh, pa vsaj pomemben del današnje informacijske tehnologije.

## Čudna interakcija

Področje svojega delovanja - kvantno optiko in kvantno informacijo - Zeilinger predstavi tako: "Kvantna optika je področje optike, kjer delamo s posameznimi delci svetlobe, imenovanimi fotoni. To so takšni kvanti, ki se obnašajo v nasprotju s tem, kar bi intuitivno pričakovali. Pojav se imenuje kvantna prepletenost (angl. quantum entanglement). Npr. dva fotona na različnih krajih sta lahko prepletena brez kakršnekoli povezave med njima. Ko pa opazujemo ali merimo stanje enega izmed njih, se hkrati, ko se to spremeni, spremeni tudi stanje drugega. Ali podobno: če poznamo stanje enega, poznamo stanje drugega, ne da bi ga sploh preverili, pogledali. Einstein je pojav imenoval 'fantomsko ali strašljivo' (angl. spooky) delovanje na daljavo' in mu ni bilo všeč. O tem je napisal znameniti članek, češ da fizika ne bi smela biti takšna. A sedaj vemo - in poskusi to potrjujejo -, da lahko naredimo takšne fantomske fotone dvojčke in da takšna kvantna prepletenost obstaja. Med dvema

različnima fotonoma npr. na dveh Kanarskih otokih, Tenerife in La Palma (kjer so bili taki poskusi opravljeni), kar je več kot 144 km narazen, je še vedno ta čudna interakcija. To zanimivo odkritje iz sredine 90. let je pokazalo, da lahko te stvari uporabimo za nove informacijske tehnologije, npr. kvantne informacije."

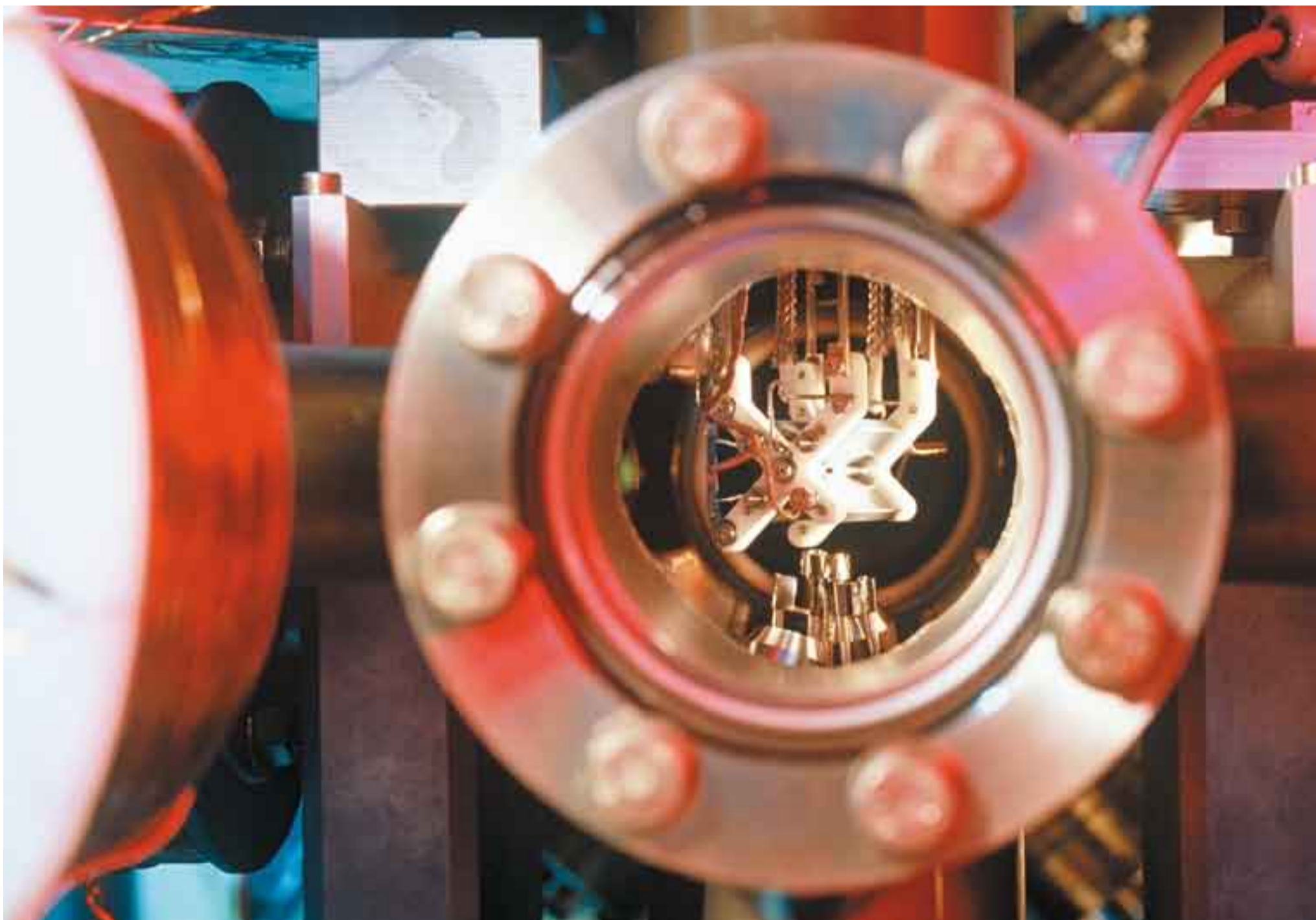
Prof. Zeilinger se ukvarja tudi s kvantno teleportacijo. "Gre za zanimivo uporabo kvantne prepletenosti. Z njeno pomočjo lahko vse značilnosti enega fotona, ki je npr. v Mariboru, prenesemo na drug foton, npr. v Ljubljani ali Kopru. In to brez neposredne povezave teh dveh fotonov. To - teleportacija - je pomembno za kvantno računalništvo, za mehanizem znotraj kvantnih računalnikov, in v splošnem tudi za kvantno kriptografijo, torej kodiranje varnih sporočil in informacij."

## Kvantno računalništvo

Razlika med kvantnim in klasičnim računalnikom je v tem, da je pri klasičnih računalnikih nosilec informacije bodisi elektron, napetost ali tok, pri kvantnem računalniku pa je nosilec informacije neki kvantni sistem, npr. foton ali atom ali karkoli drugega ali

podobnega. Informacija je v klasičnem računalniku vedno zapisana s fizikalnim načinom (npr. napetostjo), v kvantnem računalniku pa kvantno fizikalno: podana je s superpozicijo, kar pomeni, da je sestavljena iz dveh stanj. Najmanjša enota kvantne informacije je t. i. kubit, ki lahko hkrati nosi dve informaciji, 0 in 1 in ne le 0 ali 1. Informaciji sta lahko prepleteni. Kvantni računalnik lahko nosi precej več informacij kot klasični in s takimi računalniki bodo problemi lahko izračunani veliko hitreje.

Kako hitro prof. Zeilinger pričakuje takšne računalnike? Kakšne bodo praktične razlike za uporabnike? Ali bodo sploh kakšne razlike? "Osebnostno verjamem, da se bo sedanja informacijska tehnologija razvijala v tej smeri. Moorov zakon (Gordon Moore je soustanovitelj korporacije Intel, proizvajalca računalniških čipov, op. a.) pravi, da se število tranzistorjev na čip vsakih 18 mesecev podvoji, kar pomeni, da je potrebnih manj in manj elektronov za zapis 1 bita informacij. Če ekstrapoliramo trenutni razvoj, boste v 20 letih s sedanjo tehnologijo dosegli 1 bit na 1 elektron in tako dobili kvantno računalništvo, četudi tega ne bi hoteli. Prepričan sem, čeprav se zavedam velikih še odprtih problemov razvoja



kvantnega računalništva, da jih bodo znali rešiti in da bodo nekoč v prihodnosti, morda čez 20, 30 ali 40 let, vsi računalniki kvantni. To bodo naprave, veliko, veliko hitreje kot vse drugo, kar imate. Obdelovale bodo veliko več informacij na veliko bolj inteligentnem način, kot si lahko sedaj zamišljamo. Nemogoče si je zamisliti, kaj bo še nastalo. Ko se je pred desetimi leti začel počasi uveljavljati internet, mnoge aplikacije, ki jih sedaj uporabljamo, še niso obstajale.“

Na začetku svojega delovanja se je Zeilinger ukvarjal tudi z raziskavami na področju, ki je v začetnem obdobju kvantne mehanike veljalo za čudno. “To je bila nevtronska interferometrija. Šlo je za proučevanje snovi in njenih valovnih lastnosti. Pri nekaterih pojavih se delci dajo opisati s posameznimi valovi, ki se širijo vzdolž dveh zelo različnih poti proti eni točki. Ta tehnika se sedaj uporablja in razvija v kvantnem računalništvu. Zanimivo je ta razvoj osnovnih raziskav, ki so odprle pot za odkrivanje novih tehnologij. Z drugim zanimivim področjem, z makromolekulami, s katerimi sem se včasih več ukvarjal, se sedaj ukvarjajo kolegi. Raziskujejo, ali so biološke molekule kvantno-mehanski sistemi, a tega še ne vemo.“



Za Zeilingerja je najpomembnejša korist od vsega znanstvenega dela “naučiti se več o svetu, saj smo ljudje in hočemo vedeti, kako vse funkcionira, od zvezd in vesolja pa do najmanjših razsežnosti. To je konceptualno in filozofsko vprašanje, ki ga še ne razumemo povsem. Posledice vsega tega dela na različnih področjih pa so tudi v novih tehnologijah.“

### Teorija kaosa

Prof. Tomaž Prosen, fizik s Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, je priznan strokovnjak, ki se ukvarja s problemi nelinearne dinamike in neravnovesnimi pojavi v kvantni fiziki, torej na atomski skali med nanosistemi. Lani jeseni je prejel Besslovo nagrado, ki jo letno podeljuje Humboldtova fundacija v Nemčiji za odmevne znanstvene prispevke približno 20 raziskovalcem z različnih področij. To mu bo letos omogočilo raziskovalno delo na področju mnogodelčnih kvantnih sistemov v Potsdamu in v Berlinu.

“Sodelovanje po svetu človek spontano naveže z leti,” pravi Prosen. “Moja najuspešnejša sodelovanja z raziskovalci s področja nelinearne dinamike in kvantnega kaosa so bila večinoma neformalna. Poleg mentorja prof. Robnika (CAMTP), ki me je uvedel v to področje, sta bila moja druga mentorja še prof. Seligman iz Mehike in prof. Casati iz Coma v Italiji. A zelo težko je reči, kdaj bo kakšno sodelovanje plodno in kdaj ne. Človek mora biti aktiven, nihče ne bo potrkal na vrata in te povabil, da boš nekaj raziskoval. Treba je hoditi po svetu in promovirati svoje delo in pridobiti povratno informacijo.“

Kaos in nelinearna dinamika je bilo njegovo izvorno področje, a danes ni več toliko kot nekoč. Bistvo kaosa je občutljiva odvisnost nekega pojava od začetnih pogojev, t. i. metuljev pojav, kar je že prodrlo do filozofije in do ljudi, ki razmišljajo na splošen način in ni treba, da so fiziki. Teorija kaosa se ukvarja s kvantitativno analizo takih sistemov. “Skušamo jih razumeti in kaj napovedati, a zaradi njihove občutljivosti za začetne pogoje je nemogoče natančno napovedati, kaj se bo zgodilo. Napovemo pa lahko določene statistične lastnosti in določene verjetnosti,” pravi Prosen. “Primer takih sistemov je Osončje, ki je zgodovinsko stimuliralo razvoj tega področja in nekatere vodilne mislece, npr. velikega francoskega matematika 20. stoletja Henrija Poincareja. Zelo zanimivo pri samem kaosu je, da se v deterministično znanost vrivajo pojmi, kot so stohastičnost (naključnost) in verjetnost. V kvantni teoriji pa matematični mehanizmi oziroma kriteriji kaosa odpovejo. Ko rečemo kvantni kaos, mislimo na univerzalne (splošne) pojave v kvantnem svetu, ki so v klasični limiti kaotični. V začetku 90. let, ko sem delal doktorat, so bile stvari še precej odprte, povezane s statističnimi lastnostmi npr. energijskih spektrov, spektrov vzbujenih stanj kompleksnih kvantnih sistemov. So pa določene lastnosti, ki so



Dr. Tomaž Prosen (Janko Rath)



Dr. Anton Zeilinger (J. Godany)

Bistvo kaosa je občutljiva odvisnost nekega pojava od začetnih pogojev, t. i. metuljev pojav, kar je že prodrlo tudi do filozofije

## Pomembna stvar za Maribor

Med 17. in 19. decembrom 2009 je v Mariboru potekal tradicionalni, že 8. simpozij fizikov Univerze v Mariboru. Namen teh t. i. božičnih simpozijev je strokovno druženje slovenskih fizikov in nekaterih uglednih gostov iz tujine. Srečanje organizira Center za uporabno matematiko in teoretično fiziko Univerze v Mariboru (CAMTP) pod vodstvom direktorja prof. dr. Marka Robnika in ob sodelovanju prof. dr. Deana Korošaka. ■

sistemsko specifične in odvisne od tega, ali gre za molekulo ali za biljardni problem ali kaj podobnega,” nadaljuje Prosen.

### Matematična lepota preprostega modela

“V zadnjem času sem se od problematike kvantnega kaosa nekoliko oddaljil. Zanimajo me problemi in sistemi mnogo teles. Znanstveniki skušamo probleme vedno omejiti, ker je življenje preveč kompleksno. Fiziki tipično delamo modele: da dobimo čim bolj preprost, a ne preveč poenostavljen model, je treba odstraniti navlako. V teoriji kaosa so bili tipični problemi z enim, dvema, tremi delci ali telesi, ki so raziskovalcem dali dela za precej časa. Problemi mnogo teles so večkrat bistveno drugačni, aktualni so v neravnovesni statistični fiziki. To so recimo problemi dizajna kvantnih računalnikov ali še vedno nerešeni problemi v teoriji trdne snovi, kot npr. visokotemperaturna superprevodnost kot eno od kolektivnih stanj močno sklopljenih kvantnih sistemov. Ena od mojih vizij je bila in še vedno je združiti znanje s teh dveh področij: kvantni kaos (moje osnovno področje, razumevanje preprostih, a hkrati kompleksnih sistemov) in prenos tega na statistično fiziko velikih sistemov, z mnogo telesi, ki med seboj interagirajo na zelo preprost način. Postavili smo nekakšne domneve, ki jih skušamo preveriti z numeričnimi poskusi in z zadnje čase aktualnimi modelskimi sistemi. To so t. i. kvantne spinske verige, nekakšni biljardi kaosa mnogo teles, enodimenzionalne verige preprostih kvantnih spinov ali sistemov z dvema nivojema, ki naj bi jih lokalno sklopili med seboj, le najbližje sosede. Eno osrednjih vprašanj, ki jih v tem kontekstu študirajo v neravnovesni statistični mehaniki, je kvantni transport v eni dimenziji. Pokazali smo, da imajo tipične spinske verige lastnosti normalnih, difuzijskih prevodnikov (kot pri Ohmovem zakonu) natanko takrat, ko bodo korespondirale s kvantnim kaosom. Za nefizika je taka razlaga seveda zelo abstraktna,” pravi Prosen.

In kaj njega ob tem delu najbolj navdušuje? “Moje področje ni eksperimentalna, temveč teoretična oziroma matematična fizika. Fascinirata me pestrost obnašanj in matematična lepota preprostega, abstraktnega modela. Dobro je poznati čim več njegovih matematičnih lastnosti in ali model dejansko opisuje del narave. Zanima me, kako daleč lahko grem pri točnem reševanju. Najbolj ponosen sem na preboj pred dvema letoma pri matematični obravnavi modela na področju reševanja t. i. Lindbladove enačbe za mnogodelčne odprte kvantne sisteme. To so kvantni sistemi, ki jih neprestano opazujemo, na katere, recimo, svetimo z nekakšnimi laserji in jim spreminjamo določene lastnosti s časom. To enačbo na področju kvantne optike je Lindblad izpeljal že pred 30 leti in je bila popularen model, ki so ga znali točno rešiti le za določene preproste probleme, sicer pa so jo reševali numerično.

Posrečila se mi je konceptualno sveža ideja, kako točno rešiti problem spinske verige, sklopljene z okolico, ki neposredno opisuje problem transporta skozi eno nanožičko. S to rešitvijo poskušamo bolje razumeti druge fizikalne pojave, npr. kvantni fazni prehod daleč od ravnovesja. Pri tem gre za to, da spinsko verigo potopimo v magnetno polje, ki ga spreminjamo, in pri določeni vrednosti magnetnega polja se nenadoma pojavijo močne korelacije med spini. Zanima nas, kako so povezani spini. Pri feromagnetu npr. so spini seveda močno povezani in določena magnetna stanja so okarakterizirana s korelacijami dolgega reda.“

### Nova fizika

“Tukaj gre za neravnovesno stacionarno stanje, o katerem do sedaj ni bilo mogoče dosti povedati. Ko smo našli matematično rešitev tega problema, smo nenadoma odkrili zanimivo novo fiziko: ko smo daleč od ravnovesja, se vzpostavi spontan korelacijski red dolgega dosega, ki ga nismo pričakovali. Morda pomeni zanimivo novo fiziko. Članek smo objavili v reviji Physical Review Letters pred enim letom in zdaj delamo dodatne raziskave za podrobnejše razumevanje teorije samega faznega prehoda. In res si želim najti kolege v laboratorijih, ki bi imeli ideje, kako stvari dejansko videti. Močno upam, da če smo stvari videli v modelu, ki je zadosti splošen, da bodo takšne modele znali narediti v laboratorijih, za kar pa je potrebna zelo velika preciznost. Če mi bo uspelo navdušiti kakšne eksperimentalne skupine, s tem se trenutno trudim, potem uspeh ne bi smel izostati. Teoretični rezultat je zelo čist,” pravi Prosen.

Vlogo in pomen božičnega simpozija Prosen opiše kot pomembno stvar za Maribor, pa tudi za slovensko fiziko. “Hvaležni moramo biti prof. Robniku, da vlaga toliko energije v to stvar, ki je postala znana in ima ugled, ki ga je treba graditi še naprej. Že davno je prerasla mariborske okvire, saj je tu že tretjina udeležencev iz tujine, med njimi nekateri zelo ugledni znanstveniki. Kolegi, s katerimi smo tukaj, zmeraj z navdušenjem sprejmejo vabilo na ta zdaj že tradicionalni dogodek. Malo pa pogrešam več sodelovanja mariborskih fizikov, saj je to priložnost, ki bi jo lahko bolj izkoristili.“

O svojem uspešnem delu in poklicu Prosen zaključuje: “Raziskovalno delo mi je v resnično globoko zadovoljstvo. Z njim raziskovalec lahko doseže izpolnitev svojih želja in ciljev zgolj s tem, kar počne vsak dan v službi. Zame je to hvaležen poklic, v njem živim svoje najtistišnje sanje, ki so se mi uresničile. Mislim, da je znanost za mlade, nadebudne in za naravoslovje talentirane ljudi lahko zelo privlačna in jim lahko veliko da. To pa je del pomembne naloge in odgovornosti vseh nivojev izobraževalnega sistema, pa tudi javnih občil in medijev, da znanost in njene uspehe širši javnosti predstavijo na privlačen in sproščen način.” ■