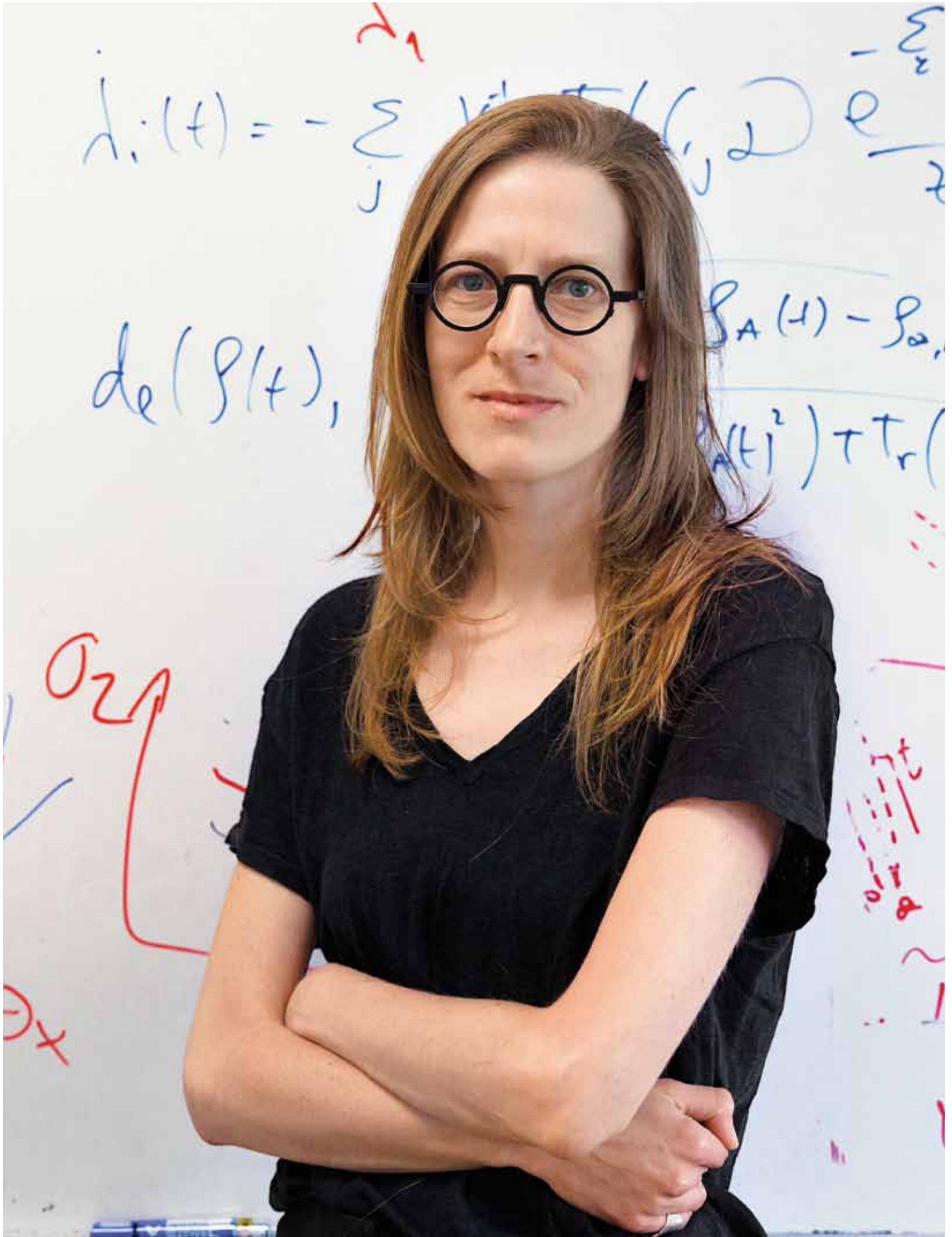




ZALA Lenarčič

TEORETIČNA FIZIČARKA

Zadnja velika revolucija na področju fizike se je zgodila z

Albertom Einsteinom, očetom teorije relativnosti, ki je razumevanje prostora in časa, seveda pa tudi mase in energije, postavil na nove temelje. A vzporedno s tem se je začela razvijati še bolj nenavadna disciplina, kvantna mehanika, ki ji tudi Einstein na koncu ni bil povsem kos. Kvantna mehanika je na glavo postavila še številne druge pojme, ki smo jih dolgo imeli za samoumevne, kot je na primer pojem krajevnosti, predstavo, da lahko neki predmet vpliva le na tisto, kar je v njegovi neposredni bližini. Pojavi, ki so jih v zadnjih stotih letih kvantni fiziki odkrili, so tako nenavadni, da jih je nemogoče zares razumeti, hkrati pa se z njimi odpirajo prej neslutene tehnološke inovacije, kot so kvantni računalniki.

S temi pojavi se na Institutu Jožef Stefan ukvarja teoretična fizičarka Zala Lenarčič, ki vodi skupino za neravnovesne odprte kvantne sisteme mnogih delcev. Potem ko se je leta 2021 s študija v ZDA in Nemčiji vrnila v Slovenijo, je za svoj projekt z

Pišer: Borut Mekina

Foto: Luka Dakskobler

naslovom »Šibko vzbu-jane kvantne simetrije« pridobila skoraj poldrugi milijon evrov vreden, prestižen pro-

jekt Evropskega raziskovalnega sveta (ERC Starting Grant), lani pa je prejela še Blinčevo nagrado za fizike na začetku kariere. Čeprav se ukvarja s teorijo, pa je pristojna tudi za predvedbo spoznanj v prakso. Med drugim zastopa Slovenijo v mreži evropske kvantne pobude (Quantum Flagship) in kot članica delovne skupine za kvantne tehnologije svetuje evropski komisiji.

Kvantna fizika je eno od najbolj zapletenih področij sodobne znanosti. Morda za začetek: kako je prišlo do tega, da ste postali teoretična fizičarka, kaj vas je potegnilo v ta svet?

► Že od otroštva me je fascinirala narava, vesolje. Name so nato vplivali pedagoškemu deli predani učitelji na osnovni in srednji šoli, na fakulteti za matematiko in fiziko v Ljubljani pa sem nato zares začutila, da je teoretičen in sistematičen opis narave to, kar me privlači.

Kvantni svet, ki ga preučujete, se po lastnostih zelo razlikuje od vsakodnevnih izkušenj.

Prihajamo v obdobje, ko imamo vse več tehnoloških zmožnosti uporabe ali manipulacije kvantnih pojavov. Vse bolj se nam odpirajo tehnološke možnosti, kako te pojave uporabiti, in s tega vidika se področje bolj odpira, kot zapira.

Ali ni eno od spoznanj kvantne fizike, da realnost, kot jo poznamo, dejansko ne obstaja?

► Na eni strani, v vsakodnevni praksi, je resničnost seveda takšna, kot jo občutimo. Vožnjo s kolesom v službo zna klasična mehanika zelo dobro opisati in napovedati. Če boš padel s kolesa, boš čutil trenje, če ostaneva v svetu fizike. Če pa se pri preučevanju te realnosti spustimo nekaj ravni nižje, na mnogo krajše razdalje, v tako imenovani kvantni svet, pa nam zelo natančne meritve kažejo, da tam vladajo drugačni, precej nenavadni zakoni, gledano z vidika vsakodnevne prakse. Ko rečem kvantni svet, mislim svet najmanjših gradnikov narave, atomov, elektronov, delcev svetlobe. Vse okoli nas je sestavljeno iz njih. Na tej najmanjši ravni pa narava ne uboga pravil, ki jih poznamo iz vsakdanjega življenja, ampak svoja, drugačna, in prav ta pravila opisuje kvantna mehanika. In ko se tega zaveš, je to poseben občutek.

Recimo, majhen delec lahko obstaja v več stanjih hkrati – kot kovanec, ki med vrtenjem v zraku ni ne cifra ne mož, in se za eno od možnosti »odloči« šele, ko ga izmerimo. Delec lahko prečka oviro, za katero po vseh pravilih klasične fizike nima dovolj energije, kot da bi žoga zletela skozi zid, namesto da bi se odbila. In nikoli ne moremo hkrati natančno poznati, kje delec je in kako hitro se giblje, pa ne zato, ker bi imeli slabe instrumente, ampak ker narava na tej ravni teh dveh odgovorov preprosto ne ponuja hkrati.

► Da, fascinantno je tudi, da ta neintuitivni kvantni svet kdaj pa kdaj pokaže svoj obraz tudi na makroravni.

Kje?

► Recimo pri superprevodnosti, ki se kaže kot prevajanje električnega toka brez upora, ali pri levitaciji superprevodnega materiala nad magnetom. Naj razložim: električni tok je potovanje elektronov po žici. V običajni žici se elektroni med potjo ves čas zaletavajo v ovire, zato se del energije izgublja, žica se greje, temu rečemo električni upor. Superprevodnik pa je material, ki pri dovolj nizki temperaturi ta upor povsem izgubi: tok po njem teče brez vsake izgube, načeloma v nedogled.

Značilnosti kvantne mehanike ali pa pojava, ki vladata na teh nižjih ravneh, sta superpozicija delcev in njihova prepletenost. Lahko čim bolj poenostavljeno razložite ta dva pojavi?

► Superpozicija je eden izmed osnovnih principov kvantne mehanike, pomeni pa, da je lahko neki delec v dveh ali večjih stanjih hkrati, v nekakšni kombinaciji stanj. Kar je neverjetno pri tem pojavu – in kar je tudi težko razumljivo – je, da je takšen delec dejansko v množici stanj hkrati. Torej, ne gre le zato, da mi ne vemo, v kakšnem stanju je, dokler ga ne izmerimo in potem ugotovimo, aha, takšen je bil. Ne: določen delec – in različni eksperimenti so to tudi potrdili – je dejansko lahko v več mogočih stanjih. Te izkušnje v vsakodnevni realnosti seveda nimamo, pri preučevanju osnovnih gradnikov našega materialnega sveta pa naletimo na takšne presenetljive zakonitosti. Ta pojav izkoriščajo tudi kvantni računalniki. Kvantni biti niso omejeni na vrednosti 0 ali 1, temveč lahko obstajajo v 0 in 1. Če zelo poenostavim: kvantni računalnik zaradi superpozicije ni omejen na eno samo možnost naenkrat, ampak lahko v svojem izračunu hkrati zajame veliko različnih možnosti. To še ne pomeni, da je hitrejši pri vseh nalogah, pri nekaterih posebej primernih problemih pa mu daje ogromno prednost pred klasičnimi računalniki.

Ena od nazornejših razlag prepletenosti je tale: v dve škatli ločeno zapremo levo in desno rokavico in eno škatlo odnesemo na Luno. Ko tukaj odpremo svojo in zagledamo levo rokavico, v istem hipu vemo, da je na Luni desna. Nič čudnega – rokavici sta bili od začetka takšni, le mi nismo vedeli, katera je kje. Prepletena delca pa sta nekaj bistveno bolj nenavadnega: pred meritvijo nobeden od njiju nima določenega stanja. Kot da bi se rokavici za levo ali desno odločili šele, ko eno od škatel odpremo, pri čemer bi bil rezultat vedno usklajen z drugo škatlo, ne glede na razdaljo. Eksperimenti naj bi to tudi potrdili. Ampak kako? Če imamo dva prepletena delca, enega na Zemlji in drugega v sosednji galaksiji, kako lahko meritev enega na Zemlji takoj vpliva na stanje drugega, na tisoče svetlobnih let stran? Ali nas ni prav Einstein naučil, da nič ne more potovati hitreje od svetlobe?

► Kaj točno se dogaja pri sami meritvi, fiziki še preučujejo, vemo pa, da s tem ne kršimo teorije relativnosti. Ključno je, da prepletenost sama po sebi ne omogoča prenosa informacij. Šele ko



primerjamo rezultate obeh meritev, se namreč pokaže povezava med meritvami na Zemlji in v drugi galaksiji. Za to primerjavo moramo namreč uporabiti običajno komunikacijo, ki ne more potovati hitreje od svetlobe. Zato ne moremo

Teoretična fizika, s katero se sama ukvarjam, je dejansko še najcenejša. Tudi zato imamo mogoče v Sloveniji že zgodovinsko močno teoretično kvantno skupnost.



uporabiti prepletenosti za takojšnje sporočanje informacij na razdaljo.

Je kvantna fizika indic, da smo morda šele na začetku velikih odkritij, ali znak, da realnosti nikoli ne bomo razumeli? Vidite pri svojem delu napredek ali temeljno blokado?

► Sama imam za zdaj občutek, da prihajamo v obdobje, ko imamo vse več tehnoloških zmožnosti uporabe ali manipulacije kvantnih pojavov. Vse bolj se nam odpirajo tehnološke možnosti, kako te pojave uporabiti, in s tega vidika

se področje bolj odpira kot zapira. Rekla bi torej, da vidim prej napredek kot blokado. Seveda ob tem, da je kar nekaj temeljnih vprašanj še nerešenih – kot sva tudi prej ugotovila –, a vsaj s tehnološkega vidika to niso ovire.

Posnemati kvantno naravo s klasičnimi računalniki je namreč izjemno težko, ker število mogočih stanj narašča eksponentno. Prav zato si poleg nevronske mreže pomagamo tudi s kvantnimi računalniki in kvantnimi simulatorji.

Kje se danes uporabljajo kvantni pojavi? Omenili ste kvantne računalnike. Še kje?

► Več je področij, kjer se odpira uporaba teh pojavov. Eno od njih je natančnejše merjenje časa, ki že danes omogoča bolj natančno GPS-navigacijo. Kvantne tehnologije se danes uporabljajo tudi v zelo občutljivih senzorjih. Kvantna interferometrija omogoča merjenje izjemno majhnih sprememb gravitacijskega polja, kar je zanimivo tudi za geofiziko in spremljanje dogajanja pod površjem Zemlje. Če zelo poenostavim: ker so kvantni sistemi tako neznansko občutljivi – že najmanjša motnja jih spremeni, lahko to njihovo slabost obrnemo v prednost in jih uporabimo kot izjemno natančne merilnike. Tak senzor zazna spremembe, ki so za druge instrumente premajhne. Drugo pomembno področje je kvantna komunikacija, kjer lahko prepletenost uporabimo za izjemno varno izmenjavo kriptografskih ključev. Varnost tu ne temelji na boljšem skrivanju, ampak na zakonu narave: kvantnega stanja ni mogoče izmeriti, ne da bi ga pri tem zmotili. Vsak poskus prisluškovanja zato pusti sled, ki jo lahko pošiljatelj in prejemnik odkrijeta. Razumevanje kvantne mehanike pa je ključno tudi pri razvoju novih funkcionalnosti materialov in zdravil.

Raziskave v osnovni teoretični fiziki so danes zelo drage. Pospeševalnik Cern v Švici, v katerem preučujemo osnovne delce, je mednarodni projekt, vreden nekaj milijard evrov. Kako verjetno je, da lahko v Sloveniji pridete do prelomnih odkritij brez ogromnega financiranja?

► Teoretična fizika, s katero se sama ukvarjam, je dejansko še najcenejša. Tudi zato imamo mogoče v Sloveniji že zgodovinsko močno teoretično kvantno skupnost. Natančni, specializirani eksperimentalni instrumenti pa so veliko dražji in zato je v eksperimentalni fiziki finančno težje biti kompetitiven in prebojen. Je pa res, da v zadnjem času tudi teoretiki postajamo dražji. Poskušamo namreč razumeti naravo s pomočjo simulacij, na primer v mojem primeru, kvantnih problemov. Zato pa potrebujemo, poleg teorije, klasične superračunalnike. Te v Sloveniji imamo, eden je v Mariboru (Vega), enega imamo tudi tukaj na inštitutu. Ampak to še ni vse. Na mojem

področju začenjamo uporabljati tudi kvantne simulatorje in kvantne računalnike, ki se lahko najamejo v oblaku. Tukaj pa se začnejo cene hitro dvigovati.

Ukvarjate se s kvantnimi sistemi, ki so zunaj ravnovesja. Naj poskusim bolj plastično opisati vaše delo: mnogi se trudijo z izdelavo eksotičnih materialov, na primer superprevodnikov, torej materialov, ki prevajajo električni tok ali pa toploto brez izgub. Vi pa ste šli v drugo smer: iščete možnost, da bi z vzbujanjem – na primer z laserskim žarkom, ki sveti v kristalne strukture – spodbudili takšne lastnosti.

► Ja, teoretično rečeno iščemo osnovne zakonitosti, po katerih se obnaša kvantna snov, kadar je zunaj ravnovesja. Snov v ravnovesju dobro poznamo; to je lahko preprosto kos kovine pri sobni temperaturi, ki ga opišemo z ustaljeno fiziko, kjer je osrednji pojem temperatura. Ko pa snov nenehno »poganjamo« – denimo z laserskim pulzom ali zunanjim poljem –, jo potisnemo zunaj ravnovesja. Takrat lahko pridejo na plano nenavadna stanja, ki jih s temperaturo sploh ne moremo več opisati, ker sistem nima več ene same, dobro določene temperature.

Lahko povzamem takole: snov v ravnovesju je kot mirna gladina jezera, opišemo jo lahko z eno

samo številko. Vi pa preučujete, kaj se zgodi, če v jezero nenehno mečeš kamne. Gladina se nikoli ne umiri, nastanejo vzorci valov, ki jih na mirni gladini ni, in prav ti »valovi« so nova stanja snovi, ki nas zanimajo.

► To bi bil nekakšen poetičen povzetek, ja. Vzemimo superprevodnost: v ravnovesju jo vsaj v nekaterih primerih dobro razumemo in se pojavi le pri nizkih temperaturah. Nas pa zanima, ali lahko podobno urejena, eksotična stanja ustvarimo in za dlje časa stabiliziramo prav z vzbujanjem snovi – torej tam, kjer jih v mirovanju ne bi bilo. Ta stanja poskušamo razvrstiti v razrede značilnega obnašanja.

Kakšni razredi so to, kakšne snovi so to?

► Naj zelo poenostavim: na papirju poznamo idealne, popolne modele, takšne, ki bi tok prevajali brez vsake izgube, ali pa takšne, ki ne bi prevajali nikoli, pa naj jih segrevaš, kolikor hočeš. V resničnem svetu so ti modeli le približek za dejanske materiale. Iščemo trik, kako bi s pravim vzbujanjem, recimo s svetlobo, te teoretične idealne lastnosti v resničnem materialu obudili in obdržali. **Ste katero od svojih teorij že predali naprej, eksperimentalnim fizikom?**



Primer slovenskih nižnih kvantnih tehnologij je razvoj naprav za varno kvantno komunikacijo, najprej med slovenskimi hribi, potem pa z Evropsko vesoljsko postajo.



► Da, sodelovala sem z eksperimentalno skupino, v kateri smo poskušali napovedati posledice generacije nekakšnih delcev in »antidelcev« v materialu – pravzaprav parov vzbujenj, ki se obnašajo kot delec in njegov antidelec. Teoretično smo napovedali, da po nastanku razpada tako, da oddajo magnetne valove. To zgodbo življenja teh delcev in antidelcev so nato eksperimentalno potrdili na Japonskem in v ZDA. Koncepti, ki jih sedaj razvijamo znotraj naše raziskovalne skupine na temo stabilizacije nenavadnih kvantnih stanj, pa so še na stopnji začetnih pogovorov z eksperimentalnimi skupinami.

Kakšen bo epilog vašega raziskovanja? Kaj mislite, da boste dosegli?

► Sestaviti želimo nekakšen katalog problemov ali pa kvantnih sistemov, ki se pri šibkem vzbujanju močno odzovejo. Želimo torej pokazati, v katerih primerih je to mogoče. Za zdaj smo prišli do novega spoznanja, da se kvantni sistemi tako obnašajo, če imajo matematično rečeno dodatne simetrije. Bolj natančno, vsaj približne simetrije, saj vzbujanje lahko nadomesti odstopanja in vseeno vodi do močnega odziva. Če zelo poenostavim s primerom tople grede: greda se segreje, čeprav je sonce pozimi šibko, ker steklo zadržuje toploto in že majhen dotok zadošča za velik učinek. Iščemo kvantne sisteme, ki so po svoji zgradbi kot topla greda: šibki zunanji sunki nadomeščajo male izgube in povzročijo veliko spremembo. Naš cilj je sestaviti katalog – seznam takšnih sistemov in pravil, ki povedo, kje takšen velik odziv lahko pričakujemo. Na primer: obstajajo idealizirani kvantni sistemi s popolno prevodnostjo in sprašujemo se, ali lahko vzbujanje nadomesti izgube v realnem materialu in stabilizira vsaj izjemno dober prevod toka.

Ampak praktično – ali vaši izračuni kažejo, da je superprevodnost mogoče doseči pri sobni temperaturi? Potem bi lahko vlaki lebdeli nad tračnicami, ne da bi za to potrebovali ogromno električne energije.

► Ne. Je pa res, da smo pri raziskavah ugotovili, da če določen tip superprevodnika hkrati hladimo in ga damo tudi v stik z okolico, pri višji temperaturi

material zaradi neravnovesne narave stanja, v katerem pristane, ostane superprevoden, tudi ko bi bil pri povprečni temperaturi že navaden prevodnik. Predstavlja si material, ki ga z ene strani hladimo, z druge pa se ga dotika toplejša okolica. Večina jih preprosto pristane pri povprečni temperaturi, mi pa iščemo takšne materiale, pri katerih to ne drži in ostanejo ujeti nekje vmes, v neravnovesju. In naši izračuni kažejo, da lahko v tem ujetem stanju ostane superprevoden tudi takrat, ko bi to lastnost pri povprečni temperaturi že zdavnaj izgubil.

Kako si vi pri vašem delu pomagате z nevronskimi mrežami, s kvantnimi simulatorji in kvantnimi računalniki? In seveda, kakšne napravo to sploh so?

► Kvantne probleme poskušamo obvladati z različnimi pristopi. Z vzponom umetne inteligence se tudi v naši skupnosti krepi zavedanje, da bi lahko za približek kvantnih stanj uporabili nevronske mreže. Taka nevronska mreža seveda »živi« v osebnem računalniku, če je večja, pa v superračunalniškem grozdu. Uporabljamo jih kot optimizacijsko orodje, s katerim lahko simuliramo kvantna stanja. Gre za novo orodje, katerega zmoglosti in omejitve šele spoznavamo. Posnemati kvantno naravo s klasičnimi računalniki je namreč izjemno težko, ker število možnih stanj narašča eksponentno. Prav zato si poleg nevronskih mrež pomagamo tudi s kvantnimi računalniki in kvantnimi simulatorji.

Kaj pa so kvantni simulatorji?

► Ideja je, da imaš zelo dober nadzor nad določenim številom atomov – recimo nad stotimi – in z njimi nato fizično simuliraš neko bolj zapleteno kvantno vprašanje, ki bi ga rad razumel. V zadnjih dvajsetih letih se je ta veja raziskovanja kvantnih problemov izjemno razvila. Z nekakšnimi pincetami ali laserskimi mrežami ujamemo posamezne atome – in tako fizično poustvarimo neki kvantni problem. Ključ je v izjemnem nadzoru in v tem, da atome ohladimo na zelo nizke temperature, da pride do izraza njihova kvantna narava. Oziroma če povem še bolj poenostavljeno: če je neki kvantni problem prezahteven, da bi ga izračunali, ga namesto tega zgradimo v laboratoriju.

Iz posameznih atomov, ki jih držimo, sestavimo pomanjšano, nadzorovano različico snovi, ki nas zanima, in potem preprosto opazujemo, kaj narava naredi. Narava »izračuna« sama sebe, mi pa odčitamo rezultat. Kvantni računalnik pa je druga, bolj »digitalna« različica iste zamisli. A ti stroji so, kot rečemo, še vedno precej zašumljeni. Pri njih se večinoma še ukvarjamo z vprašanjem, od kod izvira šum, kako ga odstraniti in za kaj jih na tej točki lahko uporabimo.

Kakšne probleme lahko rešujemo s kvantnimi računalniki? Ste jih pri svojem delu že uporabili?

► Pri nas gre predvsem za reševanje kvantnih problemov: z njimi fizično simuliramo kvantno dinamiko ali pa pripravo nekaterih kvantnih stanj. To poteka tako, da problem zakodiraš v posebnem računalniškem jeziku: poveš zaporedje kvantnih vrat, ki naj se izvedejo – to so osnovne operacije, iz katerih je sestavljen kvantni program – in na koncu izmeriš rezultat. Moram pa reči, da kot uporabniki z rezultati kvantnega računanja v oblaku za zdaj še nismo posebej zadovoljni. Zato je trenutno naša vloga predvsem v tem, da snovalcem teh računalnikov pokažemo, kaj vse še ne deluje pravilno. To velja vsaj za nas, ki računalnike najemamo na daljavo. Drugače je, če si v Googlovi ekipi, kjer za točno določen problem uporabljaš najbolj optimiziran stroj, na katerem dela množica ljudi. Tam seveda dobiš bistveno boljši rezultat.

Ta mesec, junija, je Microsoft predstavil nov kvantni čip in napovedal, da njegova arhitektura cilja na prihodnje čipe z milijoni kubitov. Gre za pretiravanje? Kaj kvantni računalniki sploh obetajo?

► Glede Microsoftovega primera sem malček bolj dvomljiva, a v tipičnih arhitekturah je povečevanje števila osnovnih gradnikov kvantnega računalnika – kubitov – pomembno predvsem zaradi zanesljivosti. En sam fizični kubit namreč v prihodnosti ne bo en logični kubit; sestavljen bo iz več slabih, manj zanesljivih kubitov, ki bodo skupaj tvorili enega zanesljivejšega. Ker posamezni kubit hitro izgubijo kvantno informacijo, jo porazdelimo med več kubitov. Takšna

Pri umetni inteligenci se namreč zdi, da so nas ZDA in Kitajska prehiteli. S potezami, kot je kvantni akt, želi zato Evropa to preprečiti na kvantnem področju.

»kolektivna« predstavitev omogoča zaznavanje in popravljanje napak, še preden te pokvari izračun. S tega vidika gre za napredek, saj je trenutno največja šibka točka kvantnih računalnikov prav nezanesljivost kubitov, ki prehitro »razpadejo«. Ne glede na te težave kvantni računalniki obetajo velike spremembe. Ena od mogočih uporab je razcep velikih števil na prafaktorje, kar je osnova za klasično kriptografijo.

Lahko to pojasnite?

► Na primer, imaš neko veliko številko in s klasičnim računalnikom poskušaš ugotoviti, katera praštevila je treba zmnožiti, da jo dobiš. Za to bi s klasičnimi algoritmi potreboval veliko časa. Obstaja pa konkreten postopek, imenuje se Shorov algoritem, s katerim kvantni računalnik tak problem reši neprimerljivo hitreje. Zakaj je to tako pomembno? Skoraj vsa zaščita na spletu – bančništvo, gesla, šifrirana sporočila – sloni na preprostem dejstvu, da dve ogromni števili zlahka zmnožiš, iz zmnožka pa praktično ne moreš ugotoviti, kateri števili sta to bili. Klasični računalnik bi za to potreboval absurdno dolgo. Dovolj zmogljiv kvantni računalnik pa lahko ta problem reši zelo hitro. Zato se že danes razvija nova, postkvantna kriptografija, odporna tudi proti kvantnim računalnikom. In če še nadaljujemo z uporabnostjo kvantnih računalnikov: z njimi bi lahko tudi hitreje iskali po velikih, neurejenih množicah podatkov, tu je sicer prednost sicer občutna, a precej manjša kot pri razcepu števil. Teoretično bodo kvantni računalniki veliko učinkovitejši od navadnih tudi pri najrazličnejših optimizacijah in v logistiki – če bomo te probleme seveda znali zapisati kot kvantne. Uporabili bi jih lahko tudi za umetno inteligenco: teoretično je mogoče nevronske mreže dodati kvantno komponento in s tem izboljšati učenje. Za vse to pa seveda potrebuješ res delujoče kvantne računalnike – teh pa dejansko še nimamo.

Evropska komisija je napovedala, da bo kvantna ekonomija čez nekaj let vredna več kot 150 milijard evrov. Si znate predstavljati, kje bo ta vrednost?

► Naj odgovorim nekoliko bolj lokalno. V okviru kvantnega vozlišča Squash na

Institutu Jožef Stefan, ki ga skupaj s pristojnim ministrstvom financira evropska komisija, smo se pogovarjali z nekaterimi slovenskimi podjetji, ki se razvijajo v tej smeri. Primer slovenskih nišnih kvantnih tehnologij je razvoj naprav za varno kvantno komunikacijo, najprej med slovenskimi hribi, potem pa z vesoljsko postajo. Drugi razvijajo komponente za hitrejše delovanje kvantnih simulatorjev, pa tudi farmacevtska podjetja se sprašujejo, ali je kvantne optimizacije mogoče uporabiti za računanje lastnosti novih zdravil. To so le nekateri konkretni primeri komercializacije kvantne znanosti.

EU sedaj napoveduje celo kvantni akt. Zakaj je treba kvantno mehaniko regulirati?

► Urediti je treba več stvari. Prva je koordinacija razvoja te discipline znotraj Evrope – da se izognemo podvajanju investicij in raziskav. Namen je torej urejeno povezovanje. Druga je, da želi evropska komisija vzpostaviti prehod znanja od raziskav k aplikacijam in inovacijam. In ker je v igri veliko denarja in naložb, vse to postavlja tudi finančni okvir. Komisija hkrati želi, da bi bili na tem področju bolj suvereni in samostojni – da nas drugi svetovni igralci ne bi povozili. Pri umetni inteligenci se namreč zdi, da so nas ZDA in Kitajska prehiteli. S potezami, kot je kvantni akt, želi zato Evropa to preprečiti na kvantnem področju. V teh raziskavah je bila namreč Evropa načeloma vedno med prvimi, sedaj pa se številni bojijo, da bi nas drugi spet prehiteli pri prenosu teh znanj v tehnologijo. Komisija torej hoče nastopiti nekoliko bolj dejavno. Eden od razlogov je tudi to, da je v Evropi manj kulture tveganega kapitala. V ZDA Amazon, Google in IBM vlagajo ogromne zneske zasebnega kapitala v kvantne tehnologije; ker se v Evropi to ne dogaja v enakem obsegu, želi komisija tudi tu postaviti okvire – da ne bi zamudili priložnosti in da bi tudi mi imeli izdelke in storitve, ki jih bomo lahko nato ponujali.

Lahko govorite o vseh vaših rezultatih?

► Da, vsi naši rezultati so javno dostopni. To pa ne velja za kolege, ki so se pridružili zagonskim podjetjem na področju kvantnega računalništva. Na univerzi smo bili sodelavci in kolegi, delili smo si vse znanje, zdaj pa morajo podpisati

pogodbe, da ne razkrivajo svojih raziskav. To se zgodi, ko postane znanje komercialno in umeščeno v tekmo, ki se dogaja med Ameriko, Evropo, Kitajsko.

Na inštitutu delate v precej moškocentričnem okolju. Na kakšne očitke ali ovire pri tem naležete?

► Res je, da je vsa raziskovalna skupnost, ki se ukvarja s kvantnimi problemi, precej moško obarvana. A ne bi rekla, da ob tem naletim na ovire, in ta sestava tudi ni posebnost našega inštituta, takšne razmere so tudi v tujini. Neuravnovešenost je verjetno še vedno posledica vzgoje, pa pričakovanih vlog. V praksi je problem tudi v tem, da kariera znanstvenice in znanstvenika ni prav prijazna do družine. Sama sem pet let preživela v tujini, v Nemčiji in ZDA, in zelo dolgo traja, preden dobiš stalno službo. Skupnost se trudi spremeniti to neuravnovešenost, kar pa po navadi le še dodatno obremeni raziskovalke z delom, ki ni le raziskovalno, ampak bolj administrativno, pedagoško, vodstveno in poljudno.

V znanstvenih svetih Instituta Jožef Stefan so od 15 članov le štiri ženske, na področju fizike pa ni nobene.

► Na našem odseku je trenutno približno 21 odstotkov zaposlenih ženskega spola. Tako da mogoče to razmerje niti ni tako neprimerno. Lahko pa ob tem omenim, da je Institut Jožef Stefan prva ustanova, ki ima svet raziskovalk in raziskovalcev na začetku kariere. Temu svetu trenutno tudi sama predsedujem. Vpeljal ga je prejšnji direktor inštituta dr. Boštjan Zalar. Tako so mlajši raziskovalci, pravzaprav pa tudi srednja generacija, dobili glas, ki ga prej niso imeli. In to je pomemben korak naprej. Z našo podporo so bili ob zadnjih volitvah v znanstveni svet izvoljeni dve ženski članici in član iz mlajše generacije. Medgeneracijski stiki torej so, imamo pa tudi odbor za enake možnosti, a izzivi seveda ostajajo: za nas na začetku kariere je največja težava že prostorska stiska. Z uspešnostjo projekti rastejo, vse bolj se odpiramo navzven in imamo vse več tujih sodelavcev. Včasih je imel vsak profesor enega ali dva študenta, sedaj imam v skupini že pet ljudi. In če jih nimaš kam namestiti, se razvoj ustavi že zaradi tako banalne okoliščine. x