

Branko Hanžek<sup>1</sup>  
bhanzek1@gmail.com

Dubravko Horvat  
FER Zagreb  
duhorvat@gmail.com

00-00

## KVANTNA RAČUNALA I UMJETNA INTELIGENCIJA

**Sažetak:** Dvije sintagme iz naslova počele su dominirati (reklamnim) tekstovima popularne znanosti, medicine, kozmetike, odgoja, obrazovanja, umjetnosti, tehnologije pa čak i popularne glazbe. Takva neselektivna uporaba jasno pokazuje da postoji veliko nerazumijevanje jedne i druge sintagme, a posebno kada se one povezu u neku (nesuvislu) rečenicu koja prividno djeluje vrlo učeno, ali koja sadržajno pokazuje da iza “sjajne terminološke površine” sjedi potpuna praznina sadržaja i razumijevanja.

U ovom tekstu ukratko ćemo dati neke semantičke okvire jedne i druge sinteze i pogledati kako one postaju povezane u pristupu koji će se njihovom sintagmom proizvesti 'kvantni skok' u modernoj inflaciji podataka kao i njihov utjecaja na naš svakodnevni život. Ta sintagma ponekad nosi ime kvantna umjetna inteligencija (engl. *Quantum Artificial Intelligence*) gdje paralelizam kvantnog računarstva omogućuje ubrzanje algoritama strojnog učenja, kao bitne grane umjetne inteligencije. I upravo ta sintagma ili nadopunjavanje tih elitnih računarskih disciplina središnja je tema ovog izlaganja.

**Ključne riječi:** inflacija podataka, kvantni skok, kvantna umjetna inteligencija, kvantna generativna umjetna inteligencija

### Uvod

Kvantna teorija, iz koje izvire kvantna računala (QC) odnosno kvantno računarstvo (QC), jedna je od velikih teorija fizike koje čine konceptualnu strukturu fizike. Richard Feynman, jedan od prominentnih teoretičara kvantne teorije je 1982. godine opisao način kako bi se kvantna fizika mogla ujediniti s logikom i računarskom tehnikom i stvoriti jednu novu disciplinu koja bi ujedinila osnovne postavke kvantne teorije i osnovne tehnike računarstva [1]. Ta bi nova disciplina, možda i znanost, sadržavala niz novih mogućnosti koje bi mogle omogućiti računarski pristup prirodnim procesima ali i računarskim problemima nedostupnim klasičnim računarskim metodama.

<sup>1</sup> Stavovi izneseni u referatu su osobna mišljenja autora

Kvantna fizika je od svoje pune fizičke i matematičke formulacije prošla dug put popločen mnogim kontroverzama i nesporazumima posebno u području njenog razumijevanja i njene interpretacije. Zato ovdje počinjemo s citatom jednog od najvećih teoretskih fizičara XX stoljeća Stevena Weinberga, 'tvorca' Standardnog modela elementarnih čestica, Nobelovog laureata (1971. godine) i autora stotine znanstvenih članaka te niza knjiga i eseja ali i stručnih knjiga iz kvantne mehanika, kvantne teorije polja i kozmologije:

*“Kvantnu mehaniku smatramo danas univerzalnim matematičkim okvirom za zakone prirode. Fizičari se svi slažu s načinima primjene kvantne mehanike u računima, a oni su doista pružili zapanjujuće rezultate proračuna svojstava atoma, molekula, atomske jezgre, elementarnih čestica i još mnogo drugog. Međutim, nastavljaju se kontroverze vezane uz neka svojstva, prije svega formulacije i opravdanja njenih postulata vezanih uz mjerenja i vjerojatnost.” [2]*

Za puno razumijevanje kvantne fizike i njene snage pri računu fundamentalnih procesa valja se okrenuti nekim knjigama (poput [3-7]), a ovdje želimo samo pogledati koje su osnovne komponenta kvantne fizike prenesene kao konceptualno nasljeđe u kvantno računarstvo (QC). Pri tome je u golemoj literaturi dobro odabrati knjige koje sistematiziraju okvire kvantne fizike pomoću kvantno mehaničkih postulata ([8,9,10] primjerice). Kvantno mehanički postulati daju skicu sadržaja i metoda kvantne mehanike, a oni su formirani *a posteriori*, kada se kvantna mehanika već etablirala kao teorija mikroskopskih procesa i čija je uloga bila sistematizirati golemo područje kvantnih principa. Možemo kazati da kvantno mehanički postulati služe danas prvenstveno kao dobar uvod i vodič pri savladavanju i razumijevanju osnovnih principa kvantne teorije

## **1. Kvantnomehanički principi kvantnih računala (QC)**

- (1) *Superpozicija* - Klasični proračuni (klasičnih računala) provode se bitovima koji se mogu nalaziti u samo jednom od mogućih stanja, tj. ili 0 ili 1. Qubit ili kvantni bit nalazi se u (kvantnomehaničkoj) superpoziji stanja 0 i 1, tj. qubit poprima istovremeno potencijalnu vrijednost 0 i 1. Time se omogućuje velik broj operacija istovremeno, posebno kada se uvede višekubitno stanje (dvoqubitno, troqubitno itd.). Qubit bismo po analogiji s kvantnom mehanikom mogli nazvati valnom funkcijom koja je superpozicija mogućih stanja s različitim vjerojatnostima.
- (2) *Kvantna interferencija* - Kvantni bitovi - qubiti - mogu interferirati kao (klasični) valovi i pri tome se prilikom izvođenja kvantnih algoritama može povećati vjerojatnost istinitih ishoda konstruktivnom interferencijom, odnosno smanjiti vjerojatnost lažnih (negativnih) ishoda destruktivnom interferencijom.
- (3) *Spletenost - spregnutost* - Spregnutost je kvantni fenomen pri kojem su dvije kvantnomehaničke čestice povezane na taj način da promjene na stanju jedne čestice istovremeno dovode do promjene stanja druge čestice, bez obzira na (možda i golemu) prostornu udaljenost između čestica. Spregnutost višekubitnih stanja rabi se pri izvođenju određenih algoritama npr. teleportacije i prisutna je u mnogim procesima.

- (4) *Kvantnomehaničko mjerenje* - Mjerenje u kvantnomehaničkom sustavu proizvodi kolaps valne funkcije u jedno od mogućih stanja koje je prije procesa mjerenja u koherentnoj superpoziciji s drugim stanjima. Taj proces se doslovno preslikava i u qubitno stanje kao superpoziciju mogućih stanja. Klasični bit uvijek ostaje u jednom, dobro definiranom stanju, dok mjerenja qubita proizvodi spektar vjerojatnosti nalaženja u pojedinom stanju u superpoziciji te odgovara vjerojatnostnoj interpretaciji kvantne mehanike.
- (5) *Kvantna vrata* - Logičke operacije kod klasičnih računala provode se 'prolaskom' kroz logička vrata. U kvantno mehaničkom računu promjene se odvijaju djelovanjem unitarnih operatora, a u kvantnom računalnom stanju promjene se izvedu u kvantnim vratima koja su konstruirana od unitarnih operacija na (multi)qubitima. Time se postiže reverzibilnost kvantnih procedura što je još jedna velika prednost kvantnih algoritama jer se iz konačnog rezultata može rekonstruirati početno stanje odnosno u svakom se trenutku računa može rekonstruirati prethodni korak inverznim unitarnim operatorom kojim se provodi račun.
- (6) *Kvantni paralelizam* - Superpozicija bitova kod kvantnih računala (QC) omogućuje da se istovremeno obrađuju problemi koji se rješavaju brže, a mjera brzine određena je oblikom funkcije brzine procesiranja. Paralelizam procedura vodi na eksponencijalni porast brzine što vodi na mogućnost, primjerice, faktoriziranja velikih brojeva ili brzog pretraživanja. Tako su realizirani i odgovarajući kvantni algoritmi kod kvantnih računala - Shorov algoritam za faktoriziranje i Groverov algoritam za pretraživanje.
- (7) *Kvantna dekoherencija* - Za proces kvantnog računanja važno je da su stanja s kojima se ulazi u kvantnu mrežu ili koja prolaze kvantnom mrežom s odgovarajućim procedurama, stabilna, odnosno da se početna superpozicija stanja održi da bi se postigao određeni računalni cilj. Upravo ta stabilnost, ili kako je ovdje zovemo kvantna koherencija, jedan je od glavnih problema kvantnog računarstva, jer je održavanje kvantne koherencije vrlo težak i zahtjevan problem. Dekoherencija je glavni protivnik stabilnog kvantnog računarstva odnosno konstrukcije kvantnog računala, a posljedica je vanjskih utjecaja ili nekontrolirane promjene uvjeta u i oko područja gdje se nalaze qubitovi.

Treba se također sjetiti da je Nobelova nagrada za fiziku godine 2022. dodijeljena trojici fizičara, Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger, koji se bave upravo fundamentalnim problemima naznačenim u citatu S. Weinberga, što također pokazuje da postoji još golem prostor istraživanja u svim aspektima kvantnih pojava. Njihova istraživanja su također bitno vezana i uz našu temu veze kvantne fizike, kvantnog računarstva i umjetne inteligencije, o čemu govorimo u zadnjim odjeljcima ovog teksta. Stoga citiramo originalni tekst razloga dodijeljivanja Nobelove nagrade:

*“... for experiments with entangled photons, establishing violation of Bell inequalities and pioneering quantum information science.”<sup>2</sup>*

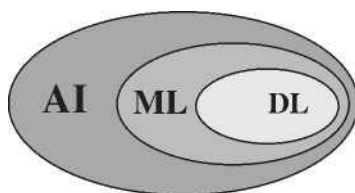
U pregledu povezivanja kvantne fizike i računarstva u novu disciplinu (ili znanost) zanimljivo je pogledati sliku strukture knjige autora Nielsena i Chuanga [12], koja se ponekad naziva “Biblijom” kvantnog računarstva. Vidimo da je najčešće poznati termin iz (klasičnog) računarstva jednostavno “proširen” riječju *kvantni/kvantno*.

## 2. Sadržaj kvantnog računarstva (QC)

Prema do sada iznesenom možemo prihvatiti sljedeća područja djelovanja i istraživanja u (novoj)

<sup>2</sup> „... za pokuse sa zapletenim fotonima, tvoreći izuzetak Bellove nejednakosti i predvodeći kvantnu informacijsku znanost.“

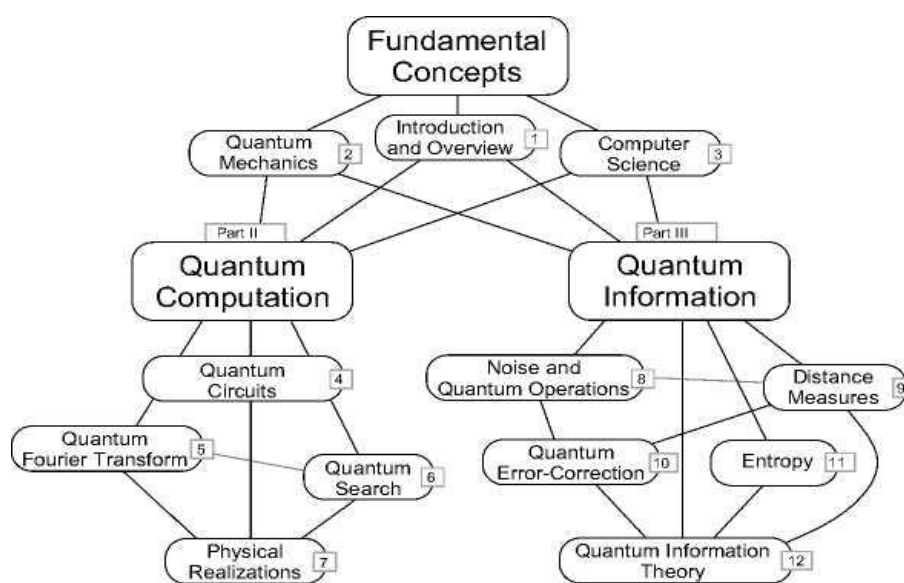




Sl. 2. - Odnos AI, ML (machine learning - strojno učenje) i DL (deep learning - duboko učenje).

### 3. Umjetna inteligencija (AI) - uvod

U ovom drugom dijelu teksta razmatramo umjetnu inteligenciju (za koju ćemo u daljem tekstu rabiti kraticu AI, uz izgovor [ei-aj] prema engleskoj verziji naziva 'Artificial Intelligence').



Sl. 3. - Ilustrativni pregled sadržaja knjige smatrane 'Biblijom kvantnog računarstva' [12].

Bez ulaska u povijesni pregled razvoja umjetne inteligencije, valja spomenuti da je kroz povijest ljudskog okretanja pomoći od strojeva, uvijek tinjala nada da će se moći postići da strojevi samostalno obavljaju neke poslove tako da imitiraju ljude pri obavljanju tih poslova. Ograničene tehničke mogućnosti ostavile su takve nade neostvarenim pa je tek razvoj računalnih strojeva pokazao da je to područje gdje se najbrže može (možda) ostvariti onaj dugo sanjani san. Razmišljanja o strojevima pomagačima ili (čak) suradnicima, pa i 'samostalnim poduzetnicima' doveo je do definicije takve 'umjetne inteligencije' koja se danas može definirati, ili bar opisno prikazati ovako: AI je tehnologija koja omogućuje strojevima/uređajima da oponašaju ljudski um - ljudsku inteligenciju u izvođenju procesa prepoznavanja oblika, odlučivanja, vizualne percepcije, prepoznavanja govora, procesuiranje informacija, optimizacije postupaka itd. Ili, kraće kazano, cilj AI je da omogući strojevima da oponašaju ljudsko razmišljanje i ponašanje uključujući učenje, razmišljanje, razmatranje, predviđanje itd. Dakle,

želimo postići da naš stroj (ovdje će to biti očigledno računalo) percipira, razumije, razmišlja i djeluje (odgovori), a pri tome se mora ponašati racionalno.

#### 4. Prirodna inteligencija (NI)

Sintagma AI vodi na pitanje: stvarno stanje prirodne inteligencije ili NI prema engleskom ‘*natural intelligence*’? Definicije prirodne inteligencije dolaze nam iz područja psihologije. Tako neki autori uvode osam različitih vrsta prirodne inteligencije:

- (1) *Lingvistička inteligencija* povezana s vještinom govora i pisanja;
- (2) *Logičko-matematička inteligencija* opisuje vještinu baratanja brojevima;
- (3) *Glazbena inteligencija* govori o izvedbi i komponiranju glazbe;
- (4) *Prostorna inteligencija* odnosi se na sposobnost procjenjivanja i analize vidljivog svijeta;
- (5) *Tjelesno-kinetička inteligencija* govori o vještini kretanja (ples, atletika);
- (6) *Međuljudska inteligencija* opisuje vještinu razumijevanja i komunikacije s drugima;
- (7) *Osobna inteligencija* govori o vještini i sposobnosti razumijevanja samog sebe;
- (8) *Prirodna inteligencija* govori o vještini razumijevanja svijeta prirode.

Intuitivno se možemo složiti s tako pažljivo raščlanjenom definicijom inteligencije. No, sažetiji opis inteligencije je *trodomna teorija inteligencije*:

- (I) *Komponentna inteligencija* koja opisuje sposobnost rješavanja testova inteligencije;
- (II) *Eksperimentalna inteligencija* govori o sposobnostima prilagodbe novim situacijama i stvaranju novih ideja;
- (III) *Kontekstualna inteligencija* odgovara sposobnosti kvalitetnog funkcioniranja u svakodnevnom životu.

Neke od gornjih definicija pomalo kreću prema cirkularnim definicijama (“inteligentan čovjek je onaj koji posjeduje inteligenciju”) no to je područje u koje nije uputno ulaziti s previše skepse. To nas vodi na definiciju iz rječnika stranih riječi gdje stoji: *inteligencija je sposobnost otkrivanja zakonitosti u odnosima među činjenicama i, dalje, to je ukupnost sposobnosti shvaćanja i uočavanja činjenica u neposrednom snalaženju i borbi za opstanak živih bića.*

#### 5. Uloga i ciljevi AI

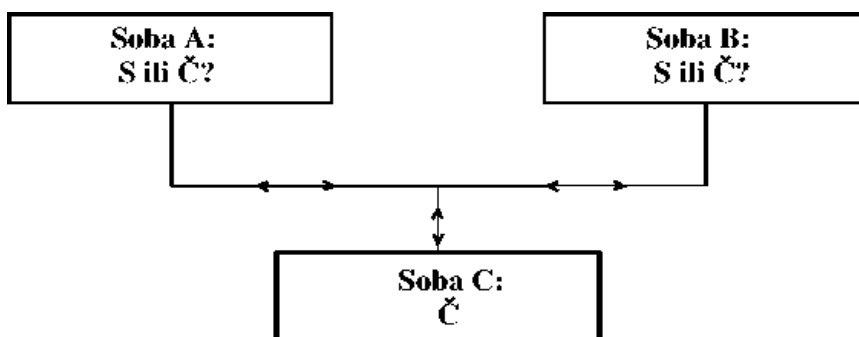
Iz ranijih razmatranja možemo jednostavno kazati da je uloga AI naučiti stroj da slijedi ono što je ranije opisano kao prirodna inteligencija. Bitne komponente AI, prema prikazu na slici su strojno učenje ML i duboko učenje DL kao dio ML. Duboko učenje slijedi prirodnu neuronsku mrežnu strukturu i pomoću umjetnih neurona organiziranih u slojevima uči ih da obrađuju podatke po slojevima koji ulazeći u sve dublje neuronske slojeve postaju sve specifičniji. Na taj način priređuje i omogućuje ML učenje - treniranje na poznatim podacima i tako naučene podatke ML rabi da ostvaruje novo, nenaučeno znanje.

I u jednom i drugom opisu disciplina AI očigledno je da za AI, preko ML odnosno DL, rezultat koji se prezentira korisniku na neki upit i zahtjev, bitno ovisi o podacima koji su uzeti ili od DL ili ML, što vodi na bitan zaključak da je vjerodostojnost i kvaliteta odgovora AI na upit toliko dobra koliko su

dobri podatci koje je AI imala. Svakako, algoritmi koji čine osnovnu, nevidljivu strukturu AI određuju kako će biti podatci koji su na raspolaganju interpretirani i složeni i to ili tako da su oni samo izabrani, sistematizirani i uobličeni bez stvaranja nekog novog, ranije nepoznatog ishoda ili će, općenitije, proizvesti novo znanje. Dakle, uvode se algoritmi koji stvaraju - generiraju, na osnovu naučenih – 'treningom postignutih' procedura dobivenih ML, neka nova znanja, koja nisu bila poznata pri proceduri treniranja te se takva AI zove generativna AI koja, prema tome pokazuje određenu neovisnost i inventivnost. Rezultat generativne AI mogu biti i novi podatci koji su izvedeni iz onih koje je AI ili ML rabila pri treningu.

#### Turingov test AI

Legendarni matematičar i računalni znanstvenik Alan Turing značajno je doprinio konceptualnom razvoju računala ali i koncepciji AI. Zbog ranije opisanih svojstava AI, on je postavio pitanje, kako možemo znati ili proglasiti da je stroj - računalno postiglo razinu inteligencije, prema ranijim opisima i definicijama prirodne inteligencije - NI. On nam je ponudio test [13], poznat danas po nazivu Turingov test, kojim bi se moglo pokazati da je stroj postigao željenu razinu imitacije ljudske inteligencije, slika 4.



Sl. 4 - Prikaz Turingovog testa: u sobi A i u sobi B nalaze se ili čovjek (C) ili stroj (S). U sobi C nalazi se čovjek - ispitivač koji ne zna tko ili što je u pojedinoj sobi, a čiji je zadatak da u pet minuta postavlja pitanja sobi A i sobi B i na osnovu odgovora na pitanja, on daje odgovor o tome da li je u sobi A čovjek i u sobi B stroj ili obrnuto. Ako to ne uspije zaključiti, tada se može kazati da je stroj postigao stupanj imitiranja čovjeka, tj. imamo stroj s umjetnom inteligencijom AI.

Turingov test, koji se ponekad naziva 'igre oponašanja' (engl. *The Imitation Games*) je u novije vrijeme izložen mnogim kritikama od strane računalnih znanstvenika i filozofa. Smatra se da su današnja računala kao nosioci AI postala dovoljno napredna da je u pet minuta (prema Turingu) nemoguće "razlučiti" stroj od čovjeka. Nadalje, metode i sadržaji ispitivanja te ocjenjivanje odgovora često se smatraju nedovoljno dorađenim da bi se mogao izvesti siguran zaključak o sposobnosti i mogućnosti razmišljanja stroja. Zato se uvode drugačiji testovi koji pokušavaju doskočiti i razotkriti eventualne slabosti modernih izvedbi strojeva - računala AI.

## Programski jezici AI

Gornje skice rada ili pristupa AI pokazuju da je baratanje podacima, točnije - pretraživanje podataka, ili baza podataka, nužna komponenta zadovoljavajućeg funkcioniranja AI. Tu se mogu ili moraju, 'susresti' kvantna računala u okviru kojih kvantni algoritam (Shorov algoritam, primjerice) pretraživanja baza podataka omogućuje višestruko veću brzinu pretraživanja. Od gore opisanih svojstava kvantnih računala pri pretraživanju se javlja svojstvo paralelizma baratanjem qubitima i svojstvo spregnutosti. Nadalje, AI mora imati bitnu komponentu komunikacije, što otvara problem percepcije kojim 'osjeća, čuje i vidi' vanjski svijet, koji zatim interpretira i uklapa u postojeći izbor baza podataka. Povratnu informaciju AI formira ili vizualno ili tekстом - pisanim ili izgovorenim. Svaki taj korak rezultat je niza programa koji sadrže algoritme pisane odgovarajućim programskim jezikom.

Sigurno je da je ideja ili želja za uvođenjem stroja koji bi zamjenjivao čovjeka u nekoj mentalnoj aktivnosti vrlo je stara, no sama AI formalno je uvedena na poznatoj konferenciji u Dartmouth Collegeu, gdje je 1956. godine John McCarty predstavio računalni program koji je rabio riječi engleskog jezika i rješavao algebarske probleme zadane riječima i dokazivao logičke teoreme. Isti je autor par godina kasnije predstavio program LISP (LIST Processing). Na taj su način na početku razvoja AI dominirali su programski jezici LISP (LIST Processing) i, nešto kasnije PROLOG<sup>3</sup>. Ta su dva jezika dominirali algoritmima AI do novijeg vremena kada se nameće programski jezik Python, koji posjeduje niz modula (NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib) koji prekrivaju gotovo sva područja znanosti, a ujedno su razvijeni moduli za matematičke, grafičke, podatkovne i druge probleme. Postoji već bogata moderna literatura koja programski pristupa AI preko Pythona ([15-19]).

Jedno veliko područje ostat će još uvijek relativno nepoznato, a koje je u stvari nužno za provedbenu AI jest područje istraživanja mozga, jer mi smo sposobni prepoznati predmete, razumjeti jezike, učiti nove stvari, izvoditi niz sofisticiranih pokreta, zaključivati na osnovu nekih sjećanja i ('nesvjesnih') znanja. Naš mozak je fantastičan primjer inteligentnog sustava i sve što u okviru AI možemo pokušati jest oponašati ga vjerujući i nadajući se da mu se postepeno (ipak samo) približavamo.

## Zašto trebamo AI?

Mi očigledno živimo u vremenu kada smo uronjeni u golemu količinu podataka koje naš mozak jednostavno ne može kontrolirati. Također se svakim trenutkom novi podatci javljaju iz različitih izvora, a ti su podatci često kaotični i nesistematizirani. Bez obzira na kvalitetu podataka, znanje koje se formira na osnovu novih podataka neprestano se mora obnavljati. U takvoj situaciji nužno je uvesti inteligentne sustave (AI, očigledno) koji mogu gornje probleme obuzdati.

U novije vrijeme važna pogodnost jest uvođenje 'oblaka' (Cloud Computing) koji omogućuje pohranu goleme količine podataka pa AI ima na taj način prirodno okruženje djelovanja. Osim prikupljanja podataka koji dolaze istovremeno iz različitih izvora, njih je potrebno obraditi - usporediti, procijeniti, sistematizirati i tako ih učiniti izvorom novih spoznaja. Te podatke valja zatim 'provući' kroz algoritme treninga i na osnovu toga otvoriti mogućnost, kao što je ranije pokazano, proširivanja postojećih ili stvaranja novih znanja. Očigledno je da je brzina obrade i brzina izvođenja algoritama nužan preduvjet za ispunjenje gornjih zadataka.

## Prednosti AI

Nema sumnje da AI treba popuniti ona mjesta i teme ljudske aktivnosti koja ljudi ili skupine

<sup>3</sup> Vidjeti vrlo dobar prikaz tih jezika u knjizi [14], u zanimljivom tekstu naših autora, koji je napisan prije više od 30 godina i koji predstavlja vrlo zanimljiv opis umjetne inteligencije i njezinih lingvističkih, programskih i računalnih problema.



Ljudi ne mogu pokriti svojim angažiranjem bez obzira na vrijeme i trud posvećen tim temama. Ranije smo opisali o kakvim se problemima radi: ukratko, inflacija informacija, njihovo istovremeno javljanje iz mnogih izvora i njihova procjena i klasifikacija te njihovo uvođenje u pojedine teme ili pojedina područja. Prednosti koje ima (ili će imati u bliskoj budućnosti?) AI možemo ovdje kratko nabrojati, bez ideje da budemo u potpunosti cjeloviti:

- AI strojevi (čitaj, računala) se ne razbolijevaju, oni ne trebaju osam satni san, oni rade i rade i rade...
- AI uzima 'sve' podatke iz jednog područja neke discipline ili aktivnosti te ih tako sistematizira i prezentira da se pojavljuju korelacije koje ljudski um ne može percipirati izložen istovremenoj lavini podataka i njihovom neselektivnom javljanju. Takve se situacije javljaju u medicini pri povezivanju simptoma, stanja i medicinske obrade (lijekova, invazivne ili neinvazivne intervencije) pojedinog složenijeg medicinskog slučaja, u posebnim medicinskim terapijama, ili u analitičkoj kemiji, u astronomiji i astrofizici, u fizici visokih energija itd.
- AI procjenjuje i upućuje na najbolji put između dva mjesta pomoću GPS-a, uzimajući u obzir duljinu puta, potrošnju goriva, vremensko stanje na cesti, gustoću prometa, prohodnost cesta, vremensku prognozu itd. i sve te parametre optimizira, uz moguće preferencije korisnika.
- AI može provoditi proračune čiji je tijek provedbe nedostupan ljudskim sposobnostima. Tu je posebno važno područje vremenskih prognoza gdje u velike sustave obrade trenutačnih meteoroloških podataka neprestano ulaze vremenski promjenljivi parametri, a pri čemu važna komponenta predikcije jest ranije ponašanje atmosfere i ishoda odgovarajuće ranije prognoze s istim ili vrlo sličnim atmosferskim parametrima.
- AI svojim algoritmima prepoznaje fizionomije, povezuje lica, pomaže pri nalaženju osoba pregledom fotografija, stvara albume prema osobama na fotografijama i nalazi korelacije između frekvencije pojavljivanja istih lica na različitim fotografijama napravljenim u različitim vremenima i različitim mjestima. Tako AI postaje vrlo moćno oružje za borbu protiv kriminala i terorizma. Avionske fotografije AI analizira i prepoznaje najsitnije detalje snimljenih oblika i interpretira ih, odnosno predlaže njihovu interpretaciju. Posebni pokusi čiji se rezultati snimaju i tako proizvode velik broj fotografija poput snimaka procesa u, primjerice, CERN-u, vode uz pomoć AI do interpretacije onih procesa koje je u milionima fotografije nemoguće prepoznati kao one zbog kojih je taj pokus i dizajniran. Tako je otkriven i Higgsov bozon, bitna komponenta *Standardnog modela elementarnih čestica*. Slična je situacija u astronomiji gdje se, primjerice, snimke pojedinih segmenata neba prepuštaju selekciji AI.
- AI čak i na našim pametnim telefonima prepoznaje glas vlasnika, a izgovoreni tekst pretvara u digitalni zapis. Tako raniji zapisnici, diktiranja i slušanje izlaganja postaju trenutno dostupni u digitalnom zapisu kroz samo jednostavno slušanje stroja s AI.
- AI ne radi greške, uz odgovarajući skup ulaznih podataka. U složenijim jezicima, čija je sintaksa složenija (kao što je hrvatski jezik) mogu se dogoditi pogreške koje su međutim, lako uočljive i lako ih je popraviti.

Prema osobnom iskustvu (DH), na jedno pitanje programu ChatGPT, u odgovoru se javila rečenica s “... *umjetnička inteligencija* ...” što je izazvalo dosta zanimljivu raspravu u obitelji u kojoj postoje i umjetnici...

- AI može preuzeti poslove ili probleme za čije rješenje treba više vremena i više (mentalne) energije koja je kod AI neiscrpna, a kod ljudskog uma dovode do zasićenja, umora i odustajanja.

## 6. Područja primjene AI

Iz prethodnih razmatranja nazire se složenost uloge AI. Uloga AI manifestira se duž niza područja mnogih djelatnosti, ona je ušla u radne procese, u stvaralačke procese, u upravljanje industrijskim procesima, u medicinu, u financije, u znanstvene procese te je zanimljivo pogledati gdje se i kako se ona manifestira, ponekad i prikriveno u našoj svakodnevnici.

*Računarsko gledanje - percepcija* je važan dio AI koji se bavi vizualnim podacima - slikama ili video zapisima koji ih prepoznaje te ih analizira, uspoređuje i u njima prepoznaje pojedine elemente na osnovu njihove uloge. Nadalje, AI pretražuje web i pronalazi slične slike ili video zapise i povezuje međusobno.

*Obrada prirodnih jezika* je spomenuta već ranije. U hrvatskom jeziku problem je sintaksa (u odnosu na engleski) pa je AI ovdje pred većim izazovom, a postojeći otvoreno dostupni AI program ChatGPT vrlo često načini gramatičku pogrešku (u rodu ili licu). No, bez obzira na specifičnost hrvatskog jezika, rezultat aktiviranja AI ChatGPT u području generiranja teksta na neku zadanu temu je impresivan, uz poneku nespretnost ili sitniju gramatičku pogrešku. Također je pri obradi tekstova važno prilagoditi jezik razini korisnika, pri čitanju tekstova prilagoditi se računalu i pri AI generiranju tekstova prilagoditi se čovjeku-korisniku.

*Prepoznavanje glasa* je stari problem koji se našao i u podlozi zanimljivih književnih djela (Solženicin). Niz pametnih telefona otvara se na glas ili poziv vlasnika, a svjedoci smo da se pri pozivu na neki broj povezan s (tehničkim) problemom javlja sugovornik/sugovornica- AI - koji vrlo razumno komunicira s nama (iako se sve to na kraju pokazuje najčešće vrlo beskorisnim bez 'živog' sugovornika). Također, diktiranje teksta i njegovo pretvaranje u tekstualni zapis je postala standardna procedura pametnih telefona.

*Ekspertni sustavi* su povezani s obradom podataka i njihove selekcije za potrebe pojedinih znanstvenih ili stručnih aktivnosti kod kojih se javlja golem broj podataka koje za određenu situaciju valja selekcionirati te ih povezati na više razina. Već je ranije spomenuta medicinska dijagnostika, pojava novih lijekova, problem alergijskih reakcija i proširenje dijagnoza na slične bolesti. Jednako tako se javlja velik broj podataka u financijskim transakcijama, ali i u prirodnim znanostima, posebno u analitičkoj kemiji. Važan je i primjer astrofizičkih podataka i njihovoj obradi (vidjeti zanimljiv tekst [20] i osvrt na njega u dodatku D3).

*Robotika* se može definirati kao studij i tehnološke primjene robota, njihovog dizajna, proizvodnje i primjene. Roboti su uvedeni u svjetski vokabular od Karela Čapeka, Čeha koji je pisao o robovima - kmetovima (na češkom jeziku), a taj se pojam od njegovog formiranja (1920. godine) postepeno semantički mijenjao pa bismo danas, uz pomoć AI, prije robota nazvali suradnikom nego robom. Granica između proizvodnih automata (koji, primjerice utiskuju čepove u boce vina) i robota - suradnika postaje sve izrazitija simbiozom s AI, tako da roboti mogu obavljati za ljude opasne poslove (razminiranje, demontaža eksplozivnih naprava)<sup>4</sup> ili interveniraju u ekstremnim uvjetima (dubina, hladnoća, radioaktivnost), ili pomažu ili čak vode kirurške operacije koje zahtijevaju mikroskopsku preciznost, da ne govorimo o automobilima bez vozača. Najnužnije komponente robota su *manipulator* - ruka (najčešće) koja obavlja neki složeni posao koji joj je povjeren od *centralne jedinice*. *Centralna jedinica* prenosi ili generira upute manipulatoru i prima podatke od senzora o vanjskim uvjetima koje povratno ugrađuje u upute manipulators. Treći dio jest *energijski izvor* koji omogućava robotu njegovu aktivnost, a on se sastoji od baterija koje su tako prilagođene da neprestano vode računa o kapacitetu, sigurnosti, vremenskom ciklusu i težini.

^

<sup>4</sup>Vrlo zanimljiv i zabavan prikaz robotike može se naći u knjizi [21] i u zborniku [22]

## 7. Komponente AI

Svaki sustav AI sastoji se od nekoliko bitnih komponenata koje ukratko opisujemo redom.

- *Učenje* - Učenje (i ovdje) znači dodavanje novih znanja postojećim i produbljivanje i rafiniranje postojećeg znanja. Korisnost AI ovisi o postojećem znanju i frekvenciji obnavljanja tog znanja. Ovdje srećemo četiri glavne komponente

*Element učenja* je dio koji je odgovoran za poticaj na obnovu znanja.

*Izvedbeni element* - je dio koji kontrolira koji korak treba poduzeti pri obnovi znanja.

*Kritičar* - je dio koji procjenjuje kako se odvija proces obnove.

*Generator problema* - je dio koji sugerira postupke koji mogu dovesti do novih spoznaja.

- *Programski jezici* - O programskim jezicima govorili smo i ranije. LISP i PROLOG i dalje su dva najčešća AI jezika, no Python se ubrzano širi programima AI. Najstariji od njih je LISP (1950.) dok je PROLOG 20 godina mlađi. Python predstavlja relativnu novost u galeriji programa, a posebna je njegova bogata pozadinska podrška u vidu modula koji su već standardizirani, a postoji i niz individualno uvedenih modula koji rješavaju specifične problema (astronomija, astrofizika, financijske aktivnosti, umjetnost, grafički dizajn itd.), a uvode se zato što je sintaksa Pythona vrlo jednostavna i vrlo slična govornom jeziku. Python se pojavio krajem osamdesetih godina kao 'izum' računarca Guida van Rossuma koji je, očekivano, bio zaljubljenik britanske TV serije Monty Python (Flying Circus). On je postavio neke principe konstrukcije programskog jezika koje je nazvao "Zen Pythona" (The Zen of Python), a koji sadrži, primjerice načela poput *Lijepo je bolje nego ružno* ili *Jednostavno je bolje nego zamršeno* itd. Za instalaciju Pythona (koji je besplatan) pogodna je platforma Anaconda koja omogućuje brzu instalaciju nove verzije Pythona zajedno s najvažnijim modulima.
- *Prikaz znanja* - Kvaliteta rezultata AI ovisi o tome koliko je znanje sustav posjedovao, a to je znanje povezano s kakvoćom baza podataka iz kojih je AI crpila znanje. Postignuto znanje postupcima AI valja na najbolji mogući način prikazati, prenijeti korisnicima. Načini prezentacije znanja vrlo su dinamička kategorija, vrlo brzo se mijenjaju i prilagođavaju temama, a jedan česti način su skripta i okviri (frames) koji predstavljaju tipično, svakodnevno znanje o nekom problemu i ono je spremljeno u mapi u računalu u vidu datoteke, koja nadalje sadrži podatke na još dubljoj razini.[21, str. 50]
- *Rješavanje problema* - Taj dio AI predstavlja one postupke koji slijede načine kojima ljudi rješavaju probleme i zadatke. Pri tome su važni parametri koji utječu na rješenje ako postoji cijeli skup rješenja koja sva zadovoljavaju početne (ili rubne) uvjete. Primjerice, put od Zagreba do Rijeke može se realizirati na niz načina, a svi oni spadaju u skup rješenja, no tek jedan od njih će zadovoljiti sve uvjete ili zahtjeve koji su dodani općem problemu (rubnim uvjetima Zg-Ri).
- *Tehnički okviri AI (hardware)* - Taj dio AI predstavlja neprestanu borbu za više računalnih kapaciteta i za veću brzinu obrade, jer oduvijek znamo da je kvaliteta podataka pruženih AI najvažniji uvjet da su rezultati vjerodostojni.

Svi gore opisani elementi AI posjeduju i dalja raščlanjenja koja se razlikuju od tehničke provedbe AI pa se tako i terminološki ali i semantički razlikuju. Sve te niže kategorije (u smislu algoritamske dubine) ovise o tvorcima algoritama različitih realizacija AI i njih nije moguće predstaviti u formi ovog teksta. Nužno je konzultirati posebne tekstove iz goleme literature o AI, koji se najčešće međusobno razlikuju upravo po tim nižim (dubljim) kategorijama algoritama.

## 8. Generativna (stvaralačka) AI (GAI)

Nakon opisa glavnine sadržaja AI logičan korak opisa je već ranije na određeni način najavljena verzija AI, a to je generativna - stvaralačka AI (GAI), kao korak dalje u razvoju AI. Dvije opisne definicije GAI mogu se sažeti ovako: GAI znači da stroj (računalo) može generirati (stvoriti) nešto novo, novo znanje (ili novi skup podataka), umjesto da 'samo' analizira i povezuje postojeće podatke i time (samo) iskazuje ono što već postoji. Dakle, s GAI računala mogu pokazati stvaralačke mogućnosti. Time GAI slijedi put kojim postaje ne samo brza i jeftinija, nego postaje nadmoćnija od ljudskih rezultata. Prema tome, GAI je novi dio ML tehnologije koji uči kako stvarati nove podatke iz podataka izloženih na treningu. U GAI mnogi će uključiti sustave poput ChatGPT, GitHub Copilot, GPT-3, GPT-4, Jurassic i Bloom čiji se rezultati javljaju u formi teksta, audio snimaka, slika i/ili videozapisa. Opći je stav da su rezultati impresivni. GAI je, prema autorima takvih sustava, nužno povezati s golemim bazama podataka, inteligentno organizirati računarske algoritme, uvesti višestruki paralelizam i slijediti rezultate istraživanja ljudskog mozga.

Godine 2013. (na poticaj američkog predsjednika B. Obame) pokrenut je projekt BRAIN (engl. *Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*) čiji je cilj bolje razumijevanje funkcioniranja ljudskog mozga, što je u mnogome slično projektu ljudskog genoma.

Sam GAI sustav daje definiciju samog sebe poput: *GAI se odnosi na klasu sustava AI koji mogu stvarati/generirati nov, originalan sadržaj. Ti sustavi su trenirani na velikim bazama podataka i kao rezultat takvog treninga koji ih je naučio o strukturama, pravilnostima i odnosima među podacima, oni mogu generirati nov, ranije nepoznat sadržaj uz prateće nove podatke, a sve to je slično onom na kojem su oni trenirani.*

Rezultati GAI mogu se podvesti na sljedeće:

- generiranje novog teksta - članaka ili objava na društvenim mrežama;
- generiranje slika, fotografija ili umjetničkih artefakata;
- generiranje glazbe ili glazbenih snimaka;
- generiranje trodimenzionalnih modela i drugih vrsta digitalnih zapisa.

Rezultate GAI moguće je dalje preuzeti i mijenjati ih, uređivati i prilagođavati standardnim alatima (MS Word, TEX, Photoshop, itd.).

## 9. Kvantna generativna AI (QGAI)

Na osnovu prethodnih tekstova o kvantnim računalima i AI nije teško zaključiti da je njihova konvergencija gotovo neminovna i da će takva nova spregnutost proizvesti nešto što je i za svaku od tih komponenata iznenađujuće, jer su se one same po sebi razvijale ne hajući jedna za drugu. Međutim, nakon njihovog susreta (negdje tamo, možda ne u tako dalekoj budućnosti) i jedna i druga komponenta postižu svaka za sebe novu kvalitetu, a uzete zajedno postaju moćan alat u golemoj, slobodno možemo kazati kaotičnoj, šumi podataka različitih 'razina istine', nabacanih često bez selekcije i reda, a ipak vrijednih toliko da možemo kazati da se u filtriranim, probranim podacima kriju otisci razvoja naše civilizacije, dakle, njene prošlosti ali i nagovještaji njene budućnosti.

Vidjeli smo da AI djeluje (slično) kao ljudski mozak te tako omogućuje da pri aktivnostima u određenim djelatnostima rezultati budu učenje, razmišljanje, procjenjivanje i prilagođavanje trenutnim promjenama okvira aktivnosti. QC je tehnologija koja barata podacima na nezamislivo efikasan način dok, međutim, QC ne pruža njihovu analizu, klasifikaciju, interpretaciju i evaluaciju. Također, QC je u ovom trenutku još nezavršena tehnologija, bez mogućnosti da u potpunosti postigne stanje u kojem bi se mogla usporediti s AI na istoj razini razvijenosti. Dakle, u današnjoj situaciji usporedbe razina

razvijenosti, AI pobjeđuje jer se vide njena primjene u zdravstvu, obrazovanju, financijama, istraživanju materijala, u kemiji, fizici, astronomiji itd. Ipak, vjeruje se da će u jednom trenutku QC djelovati kao katalizator za AI.

Rezultati buduće simbioze mogu se predvidjeti i opisati ovako:

- (1) Glavni rezultat uvođenja QC u AI je veća brzina procesiranja odnosno izvedbe računa i baratanja podacima. To će zahtijevati veće računalne kapacitete i značajno povećanje potrošnje (električne) energije.
- (2) Višestruke mogućnosti traženja rješenja su prisutne u velikom broju problema, a današnja praksa najčešće intuitivno izabire jednu mogućnost dok će QC uz pomoć AI moći, i zbog brzine ali i zbog uputa od AI, istražiti paralelno više aspekata i više izglednih mogućnosti i možda ih zajednički utočiti za bolje konačno rješenje.
- (3) Analiza složenih problema (najčešće u tehničkim i znanstvenim disciplinama) koji sadrže, primjerice, intrinzičke nelinearnosti vode često do nužnog pojednostavljenja (npr. linearizacije) zbog velikog broja uvjeta i parametara. Uvođenjem QC u AI (ili obrnuto) vrijeme proračuna će se bitno smanjiti, a neće biti potrebno pojednostavljenje koje je često dovodilo do manje općenitog rješenja. To će biti rezultat brzine izvođenja i paralelizma (QC) i analize uvjeta i parametara (AI).

Nakon što se QC dovede do funkcionalnog statusa, puna suradnja AI i QC morat će uključiti algoritme za njihovu suradnju. Jasno, u ovom ih trenutku još nema, iako se može anticipirati način na koji će se moći postići puna suradnja QC i AI.

Možemo još jednom pokušati dati pregled mogućih područja konvergencije dviju tehnologija kojima se bavimo u ovom tekstu. Iz toga pregleda će biti vidljivo da bi ta buduća konvergencija QC i AI trebala (barem u ovom, početnom stadiju suradnje) trebala biti nazvana '*kvantno potpomognuta AI*' (QAAI) jer postojeći kvantni algoritmi (uglavnom) 'ne vide' AI kao mogućeg suigrača, partnera, i pomagača, kao što ni AI algoritmi - ML prije svega, još ne znaju kako iskoristiti postojeće kvantne algoritme za sustizanje prirodne inteligencije. Ipak, moguće je ovdje anticipirati neka sigurna područja gdje će se QC i AI naći na zajedničkom terenu:

- (1) *Matematičke operacije* - Kvantni algoritmi za, primjerice, nalaženje vlastitih vrijednosti (eigenvalues) VQE (Variational Quantum Eigensolver), ili za rješavanje sustava linearnih jednadžbi HHL (Harrow-Hasidim-Lloyd) nisu za sada aktivni dio strojnog učenja (ML) ali dijelovi ML algoritama i modela imat će golem utjecaj na ubrzanje ML odnosno AI.
- (2) *Tradicionalno strojno učenje - ML* - Algoritmi strojnog učenja konstruirani su prije više desetljeća, u vrijeme kada su QC bila još teoretska ideja. Treniranje na (strukturiranoj) bazi podataka može se uz postojeće kvantne algoritme (Shor, Grover, QFT - kvantni Fourierov transform) bitno poboljšati većom brzinom i dosegom baza podataka za generirajuću AI (GAI).
- (3) *Optimizacija* - Algoritmi optimizacije - nalaženje uvjetnog maksimuma ili minimuma bazirani na metodi Lagrangeovih multiplikatora zamjenjuje se kvantnim verzijama (QAOA – engl. *quantum approximate optimization algorithm*) koji garantiraju nalaženje optimuma (svakako u stohastičkom smislu) u izvedbi QC koja je formulirana kvantnim vratima i mrežama. Uz te algoritme postoje algoritmi koji su bazirani na adijabatskoj verziji QC koja je izvedena iz adijabatskog kvantno mehaničkog računa smetnje, a koji nalaze optimum metodama kvantnog tuneliranja kroz potencijalne barijere [23,24].
- (4) *Neuronsko strojno učenje* - Algoritmi koji su bazirani na modelima neuronskih mreža imaju u svojoj kvantnoj verziji određenih slabosti (u ovom trenutku) - netransparentnost, odnosno nemogućnost potpune provjere rezultata, no prilagodbe postojećih algoritama moguća je, vjeruje

se, u verziji adijabatskog QC. [24].

Gore skicirana područja i verzije konvergencije QC i AI predstavljaju velike izazove na programere koji moraju moći istovremeno kontrolirati dva golem područja znanstvenog računarstva, a koji u ovom trenutku ne žive na istoj razini zrelosti ali za koje se vjeruje da ih se može spojiti u ono što zovemo u prvoj, adolescentskog fazi QAAI - kvantno potpomognuta AI, a zatim, sazrijevanjem kroz tehnološki napredak QC, puna realizacija QAI - kvantna umjetna inteligencija.

#### AI i potrošnja energije

Ubrzo nakon uvođenja AI modela (poput ChatGPT u studenom 2022. godine, kompanije OpenAI) došlo je do prave eksplozije broja korisnika što je i rezultiralo analizom potrošnje električne energije jer je sve usavršenije modele AI valjalo 'nahriniti', a tu posebnu ulogu pri potrošnji imaju centri pohrane podataka. Za očekivati je da bi sinteza QC i AI u QAI dovela do dodatnih zahtjeva za energijom, o kojima u ovom trenutku nitko ne može dati ocjenu. No već se ranije došlo do nekih predviđanja da bi ukupna potrošnja centara pohrane podataka bila usporediva s godišnjom potrošnjom električne energije zemlje poput Argentine [25]. To je (izgleda) ponukalo velike igrače u biznisu s AI poput OpenAI (s ChatGPT), Googlea s Bardom ili Microsofta s Copilotom da uvedu niz protokola kojima bi se povećala učinkovitost modela AI i time se smanjila potreba za električnom energijom. Međutim, skeptici tvrde da se svakim danom javljaju nova, bolja, naprednija rješenja pri čijem se dizajniranju ne može zbog utrke u postizanju dominacije na tržištu voditi računa i o učinkovitosti pri potrošnji energije. Odgovor kompanija (Google, primjerice) vodi na tvrdnje da sve noviji AI modeli konzistentno smanjuju potrošnju energije, te daju usporedne podatke da su (neki) novi modeli za trećinu manji potrošači energije nego stariji (konkurentski) modeli. Nadalje, razmišlja se i o pohranom odgovora na najčešća pitanja, kako bi se izbjegla aktivacija cijelog modela koja vodi na veću potrošnju energije. Također se razmišlja i o fragmentaciji baze podataka koja bi ograničila vrijeme konstrukcije odgovora i time izbjegla aktiviranje cijelog modela.

Problem potrošnje energije skiciran ovdje pokrenuo je i zakonodavce (u SAD) da zatraže osnivanje kongresnog povjerenstva koje bi trebalo dati uvid u tvrdnje jedne i druge strane o mogućem eksplozivnom rastu potrošnje električne energije zbog rasta interesa za AI odnosno za QAI.

#### Strah od AI ili QGAI?

Dobro je na kraju istaknuti da postoji određena bojazan prema rezultatima AI, koja bi, prema nekim razmišljanjima, mogla zamijeniti (u potpunosti?) ljude - radnike - stvaraoce. Tu je sigurno važno odrediti koje su to aktivnosti u ljudskom društvu potencijalno 'ugrožene' rezultatima AI? Znanstvena istraživanja koja uključuju uzimanje u obzir postojeće podatke kojih može biti golem broj, sigurno mogu iskoristiti AI u selekciji tih podataka, no iz takvih selektiranih podataka teško je povjerovati da će AI moći, bez obzira na 'kvalitetan trening' intuitivno izvesti ili provesti novi, fundamentalni korak. Uostalom, prepoznavanje oblika selektiranjem zanimljivih fotografija procesa u CERN-u, u akceleratoru LHC, dovelo je do potvrde, već ranije spomenutog postojanja Higgsove čestice, u standardnom modelu elementarnih čestica bitne komponente te teorije. S druge strane, ako bi AI 'ispunila želju' i proizvela Beethovenovu 10. simfoniju, imitirajući prvih devet, tada bi to mnogima izgledalo vrlo privlačno pa bi to pokušali i s G. Mahlerom i njegovom 10. ili čak i J. S. Bachom i njegovim Goldbergovim varijacijama kojih 'za sada' ima samo 30, a rado bismo čuli i 31. i 32. I književnost bi mogla biti obogaćena novim doživljajima šegrta Hlapića ili Melkiora Tresića. Robotizacija upravljana AI može reducirati potrebu za radnim mjestima određene razine, no to otvara druge mogućnosti poput skraćivanja duljine radnog vremena uz pretpostavku da se učinkovitost robota koja se prelje u profit djelomično preusmjeri na zaposlene koji u toj novoj situaciji mogu imati više slobodnog vremena.

Ta se razmišljanja možda mogu sažeti u riječi jednog poznatog fizičara D. Mermina, koautora izuzetne knjige iz fizike čvrstog stanja [26] ali i niza lekcija i izvrsne knjige iz kvantnog računarstva [27] koji je dao interview fizikalnom časopisu ne tako davne 2021. godine. On je bio upitan kojih bi on deset

pitanja rado postavio svojim kolegama u godini 2100. Neki od njegovih odgovora sjajno opisuju sadašnju situaciju koja se, moglo bi se naslutiti, prepoznaju u današnjem trendu istraživanja u fizici i njevoj vezi s tehnologijom. Dakle, jedno pitanje je (otprilike): koja su imena glavnih razvojnih grana znanosti? Dalje (nama ovdje posebno zanimljivo) pitanje je: da li su fundamentalne teorije još uvijek postavljene na principima superpozicije stanja koja se vremenski odvijaju djelovanjem unitarnih operatora, ili su osnovni principi kvantne fizike (bili) zamijenjeni? Da li je kvantna mehanika preživjela svo to vrijeme, da li su istraživači postigli konsenzus o problemima interpretacije ili su se prestali time baviti kao problemom? Da li se pojavila neka alternativna teorija koja ne pati od istih nedoumica i da li je teorija koja ju je zamijenila razjasnila stare probleme ili i ona nosi sa sobom nešto slično? Nadalje, da li problem prostora i vremena koji muči ljude - istraživače od 20. i u 21. stoljeću i dalje predstavlja zagonetku? I, konačno njegovo 'novo' područje interesa: da li je netko sagradio kvantno računalo koje može faktorizirati 1000 bitni cijeli broj? Da li se ono rabi za još nešto? Da li ga ima svako kućanstvo?

Sva ova pitanja nisu nam iznenađujuća, ali s obzirom da još nije godina 2100. mi se za sada ne brinemo oko odgovora na ta uznemiravajuća pitanja, iako radimo u smjeru njihovih razrješenja.

## 10. Epilog

U tekstu su obrađena dva smjera modernih istraživanja iz područja 'poznatih' disciplina - kvantne mehanike i računarske tehnike. Svaka od njih nezavisno predstavlja golemo područje neprestanog istraživanja, a razvoj tehnologije, a time i novih ideja, doveo je do njihovih novih aspekata koji su poprimili oblik kvantnog računarstva (QC) i umjetne inteligencije (AI) koja je bitno vezana uz računalnu tehnologiju. Početni tekst tretira te dvije discipline odvojeno u više odjeljaka, obradivši tek njihove skice, no kroz obadva tematska dijela naslućuje se da je gotovo neminovna njihova sinteza koja nosi ime kvantna generativna umjetna inteligencija - QGAI. U dodatcima su dana tehnička objašnjenja nekih tema, uz osvrt na zanimljivu ulogu AI u SETI uz jednako važna razmišljanja o prednostima ali i mogućim opasnostima uvođenja AI. Dodan je i pregled niza kratica koje se javljaju u QC i AI u hrvatskim i engleskim tekstovima koji obrađuju slične teme.

## Zahvala

Zahvaljujemo se recenzentima ovog teksta koji su ga svojim primjedbama i zahtjevima bitno unaprijedili te popravili niz manjkavosti koje su se pojavile u prvoj verziji teksta. Nadalje, jedan od autora (D.H.) želi se zahvaliti kolegi i prijatelju dr. Zoranu Narančiću na nizu zanimljivih, ponekad i žučnih rasprava o temama koje prožimaju ovaj tekst. Također, zahvaljujem mu se na nizu referenci i izvora koji su bitno utjecali na kvalitetu ovog teksta.

## DODATAK D1 - Postulati kvantne mehanike

Postulati kvantne mehanike ne mogu se izvesti iz klasične mehanike, već su oni opći principi sadržaja i odvijanja mikroskopskih procesa koji su aposteriori uvedeni, nakon što su fizičari naučili strukturu i sadržaj kvantne mehanike. Oni, dakle, služe za sistematiziranje i organiziranje znanja o kvantnomehničkom formalizmu. U literaturi možemo naći različit broj postulata, formuliranih na različite načine. Mi ćemo ovdje pokušati minimalnim brojem postulata dati okvire kvantnoj mehanici i sadržaj kvantne mehanike, a to će nam pomoći da razumijemo njenu dinamiku i interpretaciju. Vidjet ćemo kako se formalizam kvantne mehanike prirodno povezuje s matematičkim formalizmom uvedenim kasnije.

Prema tome, postulati kvantne mehanike daju:

- (1) pravila za određivanje *valne funkcije*  $\psi(x, y, z, t)$ ,
- (2) interpretaciju valne funkcije,
- (3) načine uvođenja fizikalnih veličina - opservabli u kvantnomehantički formalizam,
- (4) pravila za računanje očekivanih (srednjih) vrijednosti opservabilnih veličina pomoću valnih funkcija.

#### POSTULAT 1

Svakom fizikalnom stanju kvantnomehantičkog sustava pripada *valna funkcija* (u jednoj dimenziji  $\psi(x, t)$ , a u tri dimenzije  $\psi(\mathbf{r}, t)$ ) koja sadrži sve podatke o stanju fizikalnog sustava odnosno u potpunosti određuju kvantni sustav. Valna funkcija pripada beskonačno dimenzionalnom Hilbertovom prostoru  $H^{(\infty)}$  funkcija i ona je kvadratno integrabilna kompleksna funkcija svojih argumenata.

#### POSTULAT 2

Svakoj fizikalnoj veličini pridružujemo operator. Operatori fizikalnih veličina su linearni i Hermitski. Fizikalne jednačbe u kojima se nalaze te fizikalne veličine postaju operatorske jednačbe (diferencijalne jednačbe) najčešće vlastitih vrijednosti. Vlastite vrijednosti Hermitskih operatora koji pripadaju fizikalnim veličinama su mogući rezultati mjerenja tih fizikalnih veličina. Odmah nakon mjerenja fizikalne veličine, sustav će biti u stanju koje je opisano vlastitom valnom funkcijom koja odgovara izmjerenoj vlastitoj vrijednosti.

#### POSTULAT 3

Srednja ili očekivana vrijednost neke fizikalne veličine  $A$  u nekom stanju fizikalnog sustava  $\psi$  dobije se tako da se izračuna srednja vrijednost pripadnog Hermitskog operatora  $A$ , tj.

$$\langle A \rangle = \bar{A} = \int \psi^* \hat{A} \psi dV \quad (\text{D1-1})$$

gdje se integral proteže preko područja u kojem promatramo fizikalni sustav.

#### POSTULAT 4

Vremensko odvijanje fizikalnog sustava opisanog valnom funkcijom (napisanoj u jednoj dimenziji)  $\psi(x, t)$  dano je rješenjem Schrödingrove jednačbe .

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) = \hat{H}(x, t) \Psi(x, t) \quad (\text{D1-2})$$

gdje je  $H(x, t)$  ukupna energija - *hamiltonijan* sustava, a  $H$  je odgovarajući Hermitski operator.



## DODATAK D2 - Kvantne tehnologije

Kvantna mehanika je teorija mikroskopskih pojava i struktura dok nam neposredna slika tehnologije najčešće nameće slike makroskopskih objekata poput kosilica, strojeva za pranje rublja, automobila, aviona i sličnog. Svakome je jasno da kroz stoljeća razvoja civilizacije postoji stalna (ponekad i spora) difuzija znanstvenih spoznaja i rezultata u praktičnu primjenu, tj. simbioza znanosti i tehnike - tehnologije nije nikad bila upitna. U takvim je već postojećim situacijama teško razlučiti gdje prestaje (čista) znanost, a gdje počinje tehnologija. I nedavna otkrića mikroskopske - kvantne razine dovela su do tehnoloških rješenja koja su u vidu lasera, nuklearne magnetske rezonancije, supravodljivosti, tranzistora i kompleksnijih poluvodičkih struktura ugrađena u naš svakodnevni život. Ipak, današnja situacija, odnosno naslov ovog odjeljka 'kvantne tehnologije' ne slijedi taj skoro neosjetni proces difuzije već se radi o jednom gotovo 'kvantnom skoku' od fizikalno- matematičke strukture kvantne fizike (skicirane u prošlom odjeljku) do neposrednih tehnoloških rješenja.

Kvantne tehnologije su područja preklapanja kvantne fizike i tehnologije u kojem se kvantni principi i svojstva, poput superpozicije i spletenosti primjenjuju na tehnološka područja poput računarstva, informacijske tehnologije, komunikacija, umjetne inteligencije, robotike, medicine, farmacije, pa sve do istraživanja svemira. Niz zemalja stvara centre kvantne tehnologije koji zatim, izdašno financirani, djeluju u nekim glavnim smjerovima koje ovdje navodimo:

1. Kvantno računarstvo;
2. Kvantna kriptografija;
3. Kvantna simulacija;
4. Kvantna metrologija;
5. Kvantne informacije;
6. Kvantna kontrola.

Valja ovdje naglasiti da gornja podjela ima i područja preklapanja, ali i da nedostaju neka uža područja koja su utopljena u neko od gornjih.

Jednostavnim pretraživanjem interneta uz pojam 'Quantum technologies' ili 'Quantum Information Centre' dolazimo do milijuna 'pogodaka' koji pokazuju da je, posebno u zadnjih dvadesetak godina, došlo do nedvosmislenog približavanja nekoć nespojivih područja. Već afirmirana nanotehnologija u stvari nije ništa drugo nego kvantna mehanika, koja 'radi' upravo na nano-razini, tako da i u drugim po nazivu manje evidentnim područjima, postoji takva primjena kvantnog u tehnološke namjene. Osim državnih subvencija za kvantne tehnologije, javlja se niz golemih tehnoloških kompanija poput Googla, IBMa, Microsofta, DWavea, TOSHIBA itd. koji izdvajaju goleme iznose za istraživanja kvantnih tehnologija, a i realizaciju postojećih kvantnih komponenti uređaja koji pripadaju gornjim područjima. Europska Unija je alocirala golemu sredstva upravo na gore navedene teme i stimulira stvaranje centara za kvantne tehnologije. Tražilice interneta pronaći će dokumente pod nazivom *Quantum Roadmap* koji opisuju korake učinjene u tom smjeru. Koraci opisani u popisu glavnih smjerova istraživanja ponekad se zove i 'druga kvantna revolucija', dok je ona prva, pretpostavljamo, bila pri stvaranju 'prave' kvantne mehanike Heisenberga, Schrödingera, Paulija i Diraca.

Kvantno računarstvo ostavljamo za kraj ovog odjeljka, dok spominjemo primjerice kriptografiju koja bi u svojoj kvantnoj verziji omogućila sigurnost informacijskih sustava uvođenjem algoritama koji se izučavaju u okviru kvantnog računarstva.

Kvantna simulacija prije svega se odnosi na procese u okviru velikih dinamičkih sustava poput zračnog i automobilskog prometa, raspodjele i upravljanja (telekomunikacijskim) satelitima, ali posebno je zanimljivo alociranje lijekova organizmima i njihova ciljana primjena te simulacija ishoda liječenja. Za ostvarivanje kvantne simulacije važno je konstruirati kvantni generator slučajnih brojeva (QRNG), a tu se odmah nameće i umjetna inteligencija (AI) koja svojom sveobuhvatnošću mora biti prije njenog uvođenja temeljito istražena upravo kvantnom simulacijom. Kvantne simulacije povezane su i s vremenskim prognozama za koje se danas rabe golemi klasični računalni resursi koji bi u kvantnim protokolima mogli davati pouzdane rezultate.

Kvantna kriptografija predstavlja važnu komponentu zaštite podataka, a akronim QKG znači kvantnu generaciju kodova, engl. *Quantum Key Generation*, jer bi ostvarenje kvantnih računala upravo moglo omogućiti 'razbijanje' sigurnosnih kodova generiranih klasičnim metodama.

Kvantne informacije i kvantne komunikacije imaju između ostalog oformiti kvantni internet koji bi zajedno s umjetnom inteligencijom omogućio pristup i istovremenu obradu golemog broja informacija. Tu svakako treba spomenuti dosad nespomenutu kvantnu optiku koja se oslanja na istraživanje materijala za kvantne komunikacije.

Kvantna metrologija povezana je s najvažnijim dijelom fizikalnih i tehničkih istraživanja, a to je mjerenje. Postoji niz ograničenja modernih mjernih instrumenata koji bi primjenom kvantnih verzija povećali preciznost, brzinu odaziva i mjerenja doveli u područja koja su danas nedostižna - ekstremno visoke ili ekstremno niske temperature, tlakovi i sl.. Nadalje, u kvantnoj metrologiji bi se izbjeglo međudjelovanje mjerenog sustava i instrumenta koje na osjetljivim režimima mjerenja mijenja uvjete mjerenja te daje tako manje pouzdane rezultate. Na klasične senzore postavlja se limit preciznosti zvan *standardni kvantni limit* - *SQL* koji pokazuje promjene preciznosti proporcionalno korijenu iz broj čestica u senzoru, dok se vjeruje da bi se kod kvantnih senzora u Heisenbergovom limesu preciznost senzora ponašala proporcionalno broju čestica.

## Kvantno računarstvo

Kvantna računala su posebno zanimljivo područje kvantnih tehnologija [12,28,29].

Kvantna računala provode račune s klasičnim bitovima 1 i 0, ali ti su bitovi uklopljeni u qubit - superpoziciju klasičnih bitova i unitarni procesi baratanja qubitima obećavaju ostvarenja niza prednosti nad klasičnim računalima. Unitarnost kvantnih procesa koji tvore kvantne mreže i kvantne algoritme jest u tome da je, upravo zbog unitarnosti, moguće provoditi procese u jednom i drugom smjeru (početak↔kraj, ili kraj↔početak). Zato je sinonim kvantnom računarstvu (bio) reverzibilno računarstvo. Princip unitarnosti poznat je u kvantnoj fizici i jedan je od bitnih kriterija niza procesa koji su prihvaćeni ili odbačeni upravo zbog njihove ne-unitarnosti ili unitarnosti, što je nadalje povezano s renormalizacijom u kvantnoj teoriji polja.

Jedan od ciljeva kvantnog računarstva je 'kvantna nadmoćnost', engl. *Quantum Supremacy* – QC', koja bi značila nadmašivanje klasičnog računala kvantnim, i u brzini i u pouzdanosti i u širini primjena, ali

prije svega u brzini.

Za realizaciju kvantnog računala rukovodi se kriterijima danim od poznatog istraživača kvantnih računala i kvantnog računarstva, po kome se zove i jedan kvantni algoritam, a to je Di Vicenco. On je postavio kriterije koji daju smjernice razvoja kvantnog računala. Prvi je postojanje skupa qubita, čiji se broj može umnažati po potrebi. Qubit je moguće na više načina ostvariti - spin fermiona, foton dane polarizacije, ion itd. - no najvažnije je vrijeme koherencije, tj. vrijeme kroz koje se qubit održava u stabilnom jednom definiranom stanju. Po drugom kriteriju to vrijeme koherencije mora biti dulje od procesa u kojem qubit aktivno sudjeluje. Qubit priređen u željenom početnom stanju mora proći kroz kvantne mreže, univerzalna kvantna vrata i kvantne algoritme te mora na kraju biti izmjeren. Mora biti omogućen prijenos qubita, a kao i kod klasičnih računala potrebno je uvesti protokole o ispravljanju grešaka kojih bi moglo biti s obzirom na dekoherenciju koja rezultira većem broja grešaka od klasičnih računala.

Danas se broj qubita u realizacijama kvantnih računala, a koji ulaze u kvantne algoritme neprestano povećava, a smatra se da računalo koje bi moglo ući u utrku za QC (Quantum Supremacy) mora moći kontrolirati više od 1000 qubita, što za sada još nije postignuto. Ipak, usprkos tome, već je konstruiran niz kvantnih algoritama koji u ovom trenutku rade s malim brojem qubita, ali njihov unitarni hod nije ograničen na određen broj qubita tako da je za niz primjena algoritamska strana kvantnog računarstva već pripremljena.

Navedimo ovdje samo neke algoritme koji isključivo nose imena svojih tvoraca:

*Deutshev ili Deutsch-Jozsa* algoritam koji pokazuje kako je moguće odrediti vrijednost nekog bivalentnog ishoda uz najmanji broj provjera (pismo-glava i sl.).

*Shorov algoritam* kojim se faktorizira (neprost) broj i koji ima posebnu važnost u kriptografiji. Pri tome se javlja i *kvantni Fourierov transformat* kao dio metode Shorovog algoritma.

*Groverov algoritam* kojim se istražuje baza podataka koja sadrži određeni niz qubita.

*Simonov algoritam, Bernstein - Vazirani algoritam*, itd.

Vrlo je zanimljiv u kvantnom računarstvu *teorem o ne-kloniranju* koji pokazuje da nije moguće jedan qubit "umnožiti" - klonirati. Nadalje, problem *teleportacije* riješen je kvantnom računarstvu kroz niz algoritama koji pokazuje kako je moguće jedan qubit prenijeti (teleportirati) tako da se, uz kvantni reverzibilni proces, uspostavi klasična komunikacija između pošiljaoca i primaoca, a da klasična komunikacija nikako ne može otkriti vrstu teleportiranog qubita.

Razvoj kvantnog računarstva vezan je uz konstrukciju kvantnog računala. U ovom je trenutku moguće pristupiti nekim adresama na internetu koje omogućavaju 'igranje' s qubitima i provođenje nekih kvantnih procedura uz primjenu univerzalnih kvantnih vrata i kvantnih algoritama. Vjeruje se da će ubrzo biti konstruirano kvantno računalo koje bi moglo krenuti u smjeru postizanja 'svetog grala' kvantnog računarstva, a to je 'kvantna nadmoćnost'.

#### DODATAK D3 - Osvrt na članak SETI i umjetnoj inteligenciji

U ovom dodatku bit će dan osvrt na zanimljiv članak autorice R. Charbonneau: *SETI, artificial intelligence, and existential projection*, Physics Today, 37-42, February 2024, u kojem se razmatraju različiti aspekti uloge AI u astronomiji ali i u širem društvenom kontekstu.

SETI - Search for ExtraTerrestrial Intelligence - je kratica koja je rezultat susreta znanstvenika -

uglavnom astronomu 1971. godine koji su raspravljali o ugrozi ljudske vrste od vanzemaljske inteligencije, ali i mogućih komunikacija s njom. Pri tome je velik dio rasprave posvećen umjetnoj inteligenciji i kako ona može unaprijediti ili razoriti naš svijet. I prije 1971. godine je poznati astronom Frank Drake (1930.-2022.) počeo planirati projekt pronalaženja dokaza o vanzemaljskoj umjetnoj inteligenciji.

Uz sve prednosti AI pojavila su se, međutim i razmišljanja o lošim stranama uvođenja i prisutnosti AI. Grupa znanstvenika, političara i poslovnih ljudi u jednom je proglasu, odnosno otvorenom pismu javnosti, predložila zaustavljanje opsežnih AI eksperimenata, a nešto kasnije u časopisu Time objavljen je članak kojem je teoretičar AI Eliezer Yudkowsky dao naslov *“Zaustavljanje razvoja AI nije dovoljno! Moramo AI zaustaviti u potpunosti!”* i dalje kaže: *Ako nastavimo, svi će umrijeti, čak i djeca”*.

Tehnolozi spominju riječ *singularitet* koji je u ovo područje uveo matematičar i znanstvenik V. Vinge koja označava trenutak kada će AI nadmašiti ljudsku, prirodnu inteligenciju.

Strah ili strepnja od utjecaja AI na svakodnevni život nije u potpunosti novost, jer je poznat Luditski pokret s početka agresivnog kapitalizma (koji je i danas, izgleda, prisutan) kada su u XIX stoljeću u Velikoj Britaniji tekstilni radnici, u strahu od uvođenja strojeva u tvornice, počeli razbijati strojeve i tvornice u strahu da će ih strojevi u potpunosti zamijeniti i da će tako ostati bez posla. Cijela slika Luditskog pokreta ima, međutim i širu dimenziju: luditi su se borili za veća radnička prava, tako da su u okviru tehnološkog napretka oni tražili više pravde i više razumijevanja ili, kako bismo modernije kazali, za pravednije koeficijente.

AI u tom kontekstu može, prema sociolozima i političkim planerima, proizvesti niz društvenih i moralnih problema ako se bez opreza uvede u politiku zapošljavanja, stanovanja, socijalne pomoći, posebno ako se manipulira bazama podataka na kojima AI djeluje, odnosno ako se u AI uvedu parametri koji nisu u skladu s moralnim načelima.

Jedan od autora ovog teksta (D.H.) prisjeća se jedne davne priče iz znanstvene fantastike, a ta je priča izronila i u razgovoru s kolegom prof. dr. Z. Narančićem, koji se također nije sjetio, u kojoj su se svi svjetski znanstvenici udružili (znanstvena fantastika, očigledno) i izgradili golemo računalo u kojem su bila pohranjena sva znanja i svi raspoloživi podatci (AI, rekli bismo danas). To je super-računalo valjalo svečano pokrenuti. Nakon uključanja, razmišljali su koje bi fundamentalno pitanje postavili i krenuli su s pitanjem: “Postoji li Bog?”. U istom trenutku bljesnula je munja, zapečatila je prekidače upravljanja i došao je odgovor: “Sada postoji Bog!”.

**DODATAK D4 - PREGLED KRATICA**

U ovom tekstu, a i u sličnim tekstovima na engleskom jeziku, javlja se niz kratica koje dolaze ili iz engleskog jezika ili su prevedene na hrvatski jezik, a teško je pratiti u tekstu gdje se one prvi puta javljaju uz objašnjenje njihovog značenja. Zato ovdje popisujemo niz takvih kratica uz tek poneko objašnjenje njihovog značenja jer je najčešće jasan njihov sadržaj odnosno značenje.

**AI** - Artificial intelligence - umjetna inteligencija

**DL** - Deep Learning

**GHZ** - Greenberger, Horn, Zeilinger

**GPT** - Generative Pre-training Transformer

**GPU** - Graphic Processing Unit

**GUI** - Graphic User Interface

**HHL** - Harrow, Hasidín, Lloyd

**HPC** - High Performance Computing

**IT** - Information Technology

**KI** - Künstliche Intelligenz - umjetna inteligencija

**LAI** - Logic Artificial Intelligence

**LHC** - Large Hadron Collider

**LISP** - List Processing

**LLM** - Large Language Model - digitalni lingvist

**ML** - Machine Learning - strojno učenje

**NI** - Natural Intelligence - prirodna inteligencija

**NISQ** - Noisy Intermediate-scale Quantum device

**NLP** - Natural Language Processing

**OCR** - Optical Character Recognition

**QAAI** - Quantum Assisted AI

**QAOA** - The Quantum Approximate Optimization Algorithm

**QC** - Quantum computing, quantum computer

**SETI** - Search for Extra Terrestrial Intelligence - potraga za vanzemaljskom inteligencijom

**SVMs** - Support Vector Machines

**VQE** - Variational Quantum Eigensolver

Literatura i reference

- [1] R. P. Feynman, Simulating Physics with Computers, *International Journal of Theoretical Physics* 21 (6/7), 467-488 (1982);
- [2] S. Weinberg, *Third Thoughts*, Belknap Press, London (2018);
- [3] E.S. Abers, *Quantum Mechanics*, Pearson Education, Upper Saddle River (2004).
- [4] R.H. Dicke, J.P. Wittke, *Introduction to Quantum Mechanics*, Addison Wesley Publ. Comp., Reading (1960);
- [5] E.S. Abers, *Quantum Mechanics*, Pearson Education, Upper Saddle River (2004).
- [6] J.J. Sakurai, *Modern Quantum Mechanics*, Addison-Wesley Publ. Comp. New York (1985);
- [7] S. Weinberg, *Lectures on Quantum Mechanics, 2nd ed.*, Cambridge University Press, Cambridge (2022);
- [8] S. Wieder, *The Foundations of Quantum Theory*, Academic Press, New York (1973).
- [9] R. Shankar, *Principles of Quantum Mechanics*, Prentice Hall, New York (1981).
- [10] M. S. Rogalski, S. B. Palmer, *Quantum Physics*, CRC Press, Boca Raton (1999).
- [11] A. Steane, Quantum Computing, *Rep.Prog.Phys.* **61**, 117-173 (1998).
- [12] M.A. Nielsen i I.L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press, Cambridge (2000);
- [13] A. Turing, *Computing Machinery and Intelligence*, *Mind*, 59 (236), 433-460 (1950);
- [14] D. Mišljenčević, I. Marsić, *Umjetna inteligencija*, Školska knjiga, Zagreb (1991).
- [15] D. L. Poole, A. K. Mackworth, *Python Code for Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*, Independently Published (2024).
- [16] P. Joshi, *Artificial Intelligence with Python*, Packt Publishing, Birmingham (2024).
- [17] H. M. Elsherif: *Python for Artificial Intelligence: A Comprehensive Guide*, Independently Published (2024).
- [18] S. Lynch, *Python for Scientific Computation and Artificial Intelligence*, CRC Press, New York (2023).
- [19] P. Gupta, A. Bagchi, *Essentials of Python for Artificial Intelligence and Machine Learning*, Springer, New York (2023).
- [20] R. Charbonneau, SETI, artificial intelligence, and existential projection, *Physics Today*, 37-42, February 2024.
- [21] K. Warwick, *Artificial Intelligence, the basics*, Routledge, Oxon (2012).

- [22] S. Lucci, D. Kopec, *Artificial Intelligence in the 21st Century*, 2. izd., Mercury Learning and Information, Dulles (2016).
- [23] Catherine C. McGeoch, *Adiabatic Quantum Computation and Quantum Annealing: Theory and Practice*, Synthesis Lectures on Quantum Computing 5.2, 1-93 (2014).
- [24] N. Wiebe and L. Wossing, *Generative training of quantum Boltzman machines with hidden units*, arXiv: 1905.09902 (2019).
- [25] D. Kramer, Will AI's Growth Create an explosion of Energy Consumption?, *Physics Today*, 28-29, April 2024.;
- [26] N.W. Ashcroft i N.D. Mermin, *Solid State Physics*, Saunders College Publishing, Forth Worth (1976);
- [27] N.D. Mermin, *Quantum Computer Science: An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge (2007);
- [28] N.S. Yanofsky i M.A. Marnucci, *Quantum Computing for Computer Scientists*, Cambridge University Press, Cambridge (2008);
- [29] V. Kasirajan, *Fundamentals of Quantum Computing*, Springer, Cham (2020);

## QUANTUM COMPUTERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Summary:** Two phrases from the title began to dominate even advertising texts of popular science, medicine, cosmetics, upbringing, education, art, technology and even popular music. Such indiscriminate use clearly shows that there is a great misunderstanding of both phrases, especially when they are connected into an incoherent sentence that seems to be very learned, but which shows that behind the 'shiny terminological surface' there is a complete emptiness of content and understanding.

In this text, we will briefly give some semantic frameworks of both phrases and look at how they become connected in an approach that will produce a 'quantum leap' in modern data inflation as well as their impact on our daily lives. This phrase is sometimes called quantum artificial intelligence, where the parallelism of quantum computing enables the acceleration of machine learning algorithms, as an important branch of the artificial intelligence. And it is precisely this phrase or synergy of these elite computer disciplines that is the central theme of this presentation.

**Keywords:** data inflation, quantum leap, quantum artificial intelligence, quantum generative artificial intelligence

*Branko Hanček, Dubravko Horvat*

