

Viikon 1, maanantain esitehtävä:

Ensimmäisessä videossa puhuttiin termistä "entanglement", joka käsittääkseni suomentuu muotoon lomittuminen..? Onko kyseessä superposition sovellus, vai kokonaan erillinen kvanttimekaaninen ilmiö. Ja mihin kahden toisistaan täysin erillä olevan hiukkasen yhteys perustuu?

Hyvä kysymys! Lomittuminen taitaa tosiaan olla oikea termi, vaikka itse monesti käytän nimeä kietoutuminen. Kyseessä on itse asiassa superposition sovellus, jossa kaksi erillistä keskenään korreloitua kappaletta (tai abstraktimmin vapausastetta) ovat superpositiotilassa. Periaatteessa kyseessä ei siis ole 'uusi ilmiö', mutta käytännössä superpositiosta ja lomittumisesta puhutaan kuin kahtena erillisenä kvanttimekaanisena ilmiönä.

Klassisesti lomittumiseen liittyvät korrelaatiot ovat ihan helppo ymmärtää: jos otat kaksi tyhjää tulitikkurasiaa, A ja B, ja laitat satunnaisesti jompaan kumpaan kolikon, niin nyt näiden kahden tulitikkurasian tilat ovat korreloidut: jos kolikko löytyy rasiasta A, on rasia B tyhjä (koska kolikoita on vain yksi). Ja vastaavasti, jos löydät kolikon rasiasta B, on rasia A tyhjä. Jos et katso kummankaan rasian sisään (tai muutoinkaan päättele kolikon paikkaa, esimerkiksi vertaamalla rasioiden massoja!) mutta lähetät toisen tulitikkurasian ystävällesi, on teillä nyt kaksi korreloitua tulitikkurasiaa mahdollisesti hyvinkin pitkän matkan päässä toisistaan. Jos ystäväsi kurkistaa omaan tulitikkurasiaan ja löytää sieltä kolikon, 'romahtaa' sinun tulitikkurasian tila tyhjäksi. Ja toisinpäin.

Tämä on varmasti täysin luonnollista ja saattaa kuulostaa ihan pöllöltä tavalta ajatella klassisia todennäköisyyksiä. Ja niin se onkin! Erona kvanttimekaaniseen lomittumiseen onkin se, että tulitikkurasioiden korreloidut tilat ovat superpositiotilassa. Ja kuten tulemme näkemään, superpositiotilalla on oikeita fysikaalisia seuraamuksia mitattaviin suureisiin. Ja sama pätee siis myös lomittumiseen. Meidän täytyy siis hyväksyä se, että jollakin tasolla tuo pöllö ajattelumalli on nimenomaan se 'todellinen tilanne'.

En myöskään tiedä tasan tarkkaa missä näitä qt tietokoneita sitten oikeesti tarvitaan. Joo siis esim simuloinnissa mutta mihin siinä? Tiedon nopeaan siirtämiseen?(Ei varmaankaan kun olen kuulut, että qt tietokoneen eivät ole yhtä nopeita kun normaalit tietokoneen) Suuren tiedon määrän siirtäminen? (Mut eiks qt tietokoneissa siirretä tietoa kahden eri qt hiukkasen yhteis reaktioiden avulla, ni eiks se vaadi valtavan määrän niitä sitten? Vai toimiiko se vaan sitten eri tavalla?) Tai sit vaan johonkin muuhun simuloinnissa?

Hyvä kysymys. Itse näkisin kvanttietokoneet kaikesta hypetyksestä huolimatta edelleen perustutkimuksena, joilla on paljon potentiaalia mutta matkaa on vielä pitkälti.

Kvanttietokoneita ja kvanttilaskentaa ei kannata kauheasti verrata klassisiin koneisiin, sillä niiden toimintafilosofia on niin kovin erilainen.

Mutta enempi lähitulevaisuudessa on ainakin kvanttikryptografia, joka mahdollistaa tietoturvallisen tiedonsiirron. Datamäärät ovat tietenkin aika pieniä ainakin vielä, mutta sitä voisi käyttää esimerkiksi salausavainten siirtoon. Ymmärtääkseni kvanttikryptografiaa itse asiassa jo käytetäänkin tähän tarkoitukseen ainakin kokeilumielessä joidenkin pankkien välillä.

Kvanttisimulaatiot puolestaan eivät edellytä varsinaisen kvanttietokoneen rakentamista laisinkaan vaan siinä ajatuksena on että simuloidaan jotakin monimutkaisempaa fysikaalista (tai kemiallista) järjestelmää jollakin helpommin hallittavalla järjestelmällä. Tällaisia kvanttisimulointeja onkin tehty jo jonkin aikaa.

Tiedän, että kvanttietokoneet pystyvät vähintään käsittelemään paljon suurempia datamääriä verrattuna klassiseen tietokoneeseen superposition avulla, mutta verrattuna klassiseen tietokoneeseen, onko kvanttietokone yhtään 'nopeampi' kuin klassinen tietokone, vai käsittelee se vain dataa paljon fiksummin; eli onko kvanttietokoneen suurin aikavaatimus hankalille ongelmille aina vähemmän kuin klassiselle tietokoneelle?

Klassista tietokonetta ja kvanttietokonetta on itse asiassa vaikea suoraan verrata toisiinsa koska niiden toimintaperiaatteet ovat niin erilaiset. Esimerkiksi siinä mielessä kuin klassisessa tietokoneessa ajatellaan datamääriä, ei kvanttietokone käsittele yhtään suurempia määriä. Eli tietoa ei pystytä 'pakkaamaan' yhtään enempää kvanttietokoneen muistiin. Kvanttietokone käsittelee dataa tosiaan hyvin eri tavalla ja saattaa itse asiassa olla mielenkiintoista tietää että joitain ongelmia saadaan ratkottua klassisilla algoritmeilla tehokkaammin kuin kvantti-algoritmeilla. Kvantti-algoritmeissa on nimittäin sellainen haaste, että kaikki laskenta pitää olla ns. palautuvaa, eli laskun voisi ainakin periaatteessa peruuttaa lopputuloksesta takaisin alkuarvoihin. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että kvanttietokone ei voi tavallaan hukata informaatiota.

Mikä on qubit? Miten sellaisilla voidaan käytännössä käsitellä informaatiota?

Kiitos kysymyksistä! Kvanttibitit on monenlaisia. Vanhimmat toimivat kvanttilaskentaan käytetyt kvanttibitit olivat ioniloukuissa olevia yksittäisiä ioneja. Lasereilla luotiin potentiaaliuoppia, joissa oli sitten kussakin yksi ioni. Kvanttibitin tila, $|0\rangle$ tai $|1\rangle$, määräytyi ionin viritystilalla ja lasereiden avulla ioneja viriteltiin ja käsiteltiin (ja siis kvanttibitin tilaa muutettiin). Ioniloukuissa oli enintään ehkä kymmenen ionia, joten kovin suuria kvanttilaskimia ne eivät olleet :)

Google ja IBM uskoakseni käyttävät jonkinlaisia suprajohtavia piirejä. Suprajohtavat kvanttibitit ovat yleensä joko varausbittejä (charge qubit), jossa kvanttibitin tilan määrää varauksen määrä jossakin, tai sitten sähkövirtaan perustuvia vuobitteja (flux qubit), jossa kvanttibitin tilan määrää pienessä suprajohtavassa renkaassa olevan sähkövirran suunta. Toki on muitakin vaihtoehtoja ja jonkinlaisia sekotuksia noista molemmista.

Nyt en muista mitä esimerkiksi D-wave käyttää, enkä myöskään tiedä esimerkiksi IQM:n kvanttibitin realisaatiosta. Mutta periaatteessa mikä tahansa kvanttimekaaninen kaksitilajärjestelmä kelpaa, ja itse asiassa monessa tilanteessa ei haittaa vaikka tiloja olisi enemmänkin kuin kaksi mikäli kaikista mahdollisista tiloista kaksi tilaa erottuu jotenkin selkeästi erilleen (esimerkiksi ionilla on toki hyvin monta erilaista viritystilaa).

-Missä muissa asioissa, esimerkiksi lääketieteellisten sovellusten näkökulmasta tiedetään tai oletetaan esiintyvän fotosynteesin kaltaisia kvantti-ilmiöitä, joiden ymmärtäminen voisi olla teknologisesti merkittävää?

Kvantti-ilmiöillä on yllättävän paljon merkitystä monissa biologisissa ja lääketieteellisissä asioissa. Videollakin mainittiin kvanttitunnelointi ja entsyymien toiminta, sekä kvanttikietoutuminen ja lintujen suunnistus. Kurssillamme tutustutaan myös esimerkiksi silmän toimintaan ja erityisesti valoa aistivan retinaalimolekyylin kvanttimekaaniseen mallinnukseen. Haju- ja makuaisit ilmeisesti myös hyödyntävät kvanttiefektejä ja ihan elimistön molekyyliä tason ilmiöissä kvantti-ilmiöt ovat tietenkin keskeisiä.

Ekassa videossa mainittiin, että kvanttietokoneella on jääkaappiosio, ikään kuin lämpö tai jotain aiheuttaa epäsuosittuja juttuja. Toisaalta, tokan videon tapauksessa fotosynteesin reaktiokeskus ei kai ole eristetyssä, ultrakylmässä olosuhteessa, mutta havaitaan silti kvanttisuperpositio (?). Mistä tämä ero johtuu?

Hyvä kysymys, ja sehän MIT:n fyysikoitakin videolla niin nauratti :)

Koherenssi biologisissa systeemeissä on tosiaan aika yllättävää, vaan itse en pidä itse lämpötilaa tai muitakaan systeemin ominaisuuksia yllättävinä. Nykyään esimerkiksi polaritoni-eksitoni Bosen-Einsteinin kondensaatteja pystytään tekemään huoneen lämpötilassa ja meillä on Aalto yliopistossakin oma huoneen lämpötilan kondensaatti Quantum Dynamics ryhmän labrassa. Laserit ovat myös pääsääntöisesti huoneen lämpötilassa.

Merkittävin ero nähdäkseni laboratoriojärjestelmien ja kasvien fotosynteesin välillä on se aika kuinka pitkään eksitonin pitää pystyä kvanttisuperpositiotila säilyttämään. Kvanttilaskennassa tehdään nimenomaan paljon töitä jotta tuo aika saadaan mahdollisimman pitkäksi, jotta kvanttibiteillä ehditään tehdä riittävästi laskutoimituksia. Fotosynteesissä aikaskaala on paljon lyhyempi.

Itse pidän yllättävänä sitä, että kvantti-ilmiöt antavat riittävän edun että evoluutio on päätenyt hyödyntämään sitä. Mielenkiintoista nähdä mitä kaikkea uutta kvanttibiologialla on tarjottavana, sillä tieteenalana se on vasta aivan alussa.

Kysymykseksi jäi fotosynteesi-videosta dekoherenssi-ilmiö. En oikein hahmottanut, mistä siinä on kyse.

Dekoherenssilla yleisesti tarkoitetaan sitä että systeemin kvanttimekaanisen tila syystä tai toisesta menettää kvanttimekaanisen aaltoluonteensa tai 'koherenttiutensa' Kurssillamme esimerkiksi käsittelemme kvanttimekaanista systeemiä, joka on hyvin analoginen tutun kitaran kielen kanssa. Kitaran kieli voi värähdellä monella eri taajuudella. Tätä kielen värähtelyä vastaa kvanttimekaanisen systeemin tilan värähtely, ja kvanttimekaanisen tilan koherenttius tarkoittaa vain sitä että tuo värähtely jatkuu häiriintymättä. Kaikenlaiset ulkoiset (ja myös systeemin sisäiset) häiriöt kuitenkin häiritsevät tuota värähtelyä ja sitä kutsutaan yleistemillä

'dekoherenssi'. Meidän kurssillamme emme taida dekoherenssia paljoo käsitellä, mutta syksyn kvanttimekaniikan kurssilla pääsette jo sitäkin käsittelemään.

Hieman jäi epäselväksi että mikä kubitti on fyysisesti, kerrottiin miten niitä asetetaan tiettyyn tilaan tai saadaan pariutumaan toisen kanssa muttei miten tai mistä se alunperin luodaan?

Kiitos kysymyksistä! Kvanttibittejä on monenlaisia. Vanhimmat toimivat kvanttilaskentaan käytetyt kvanttibitit olivat ioniloukuissa olevia yksittäisiä ioneja. Lasereilla luotiin potentiaaliuoppia, joissa oli sitten kussakin yksi ioni. Kvanttibitin tila, $|0\rangle$ tai $|1\rangle$, määräytyi ionin viritystilalla ja lasereiden avulla ioneja viriteltiin ja käsiteltiin (ja siis kvanttibitin tilaa muutettiin). Ioniloukuissa oli enintään ehkä kymmenen ionia, joten kovin suuria kvanttilaskimia ne eivät olleet :)

Google ja IBM uskoakseni käyttävät jonkinlaisia suprajohtavia piirejä. Suprajohtavat kvanttibitit ovat yleensä joko varausbittejä (charge qubit), jossa kvanttibitin tilan määrää varauksen määrä jossakin, tai sitten sähkövirtaan perustuvia vuobitteja (flux qubit), jossa kvanttibitin tilan määrää pienessä suprajohtavassa renkaassa olevan sähkövirran suunta. Toki on muitakin vaihtoehtoja ja jonkinlaisia sekoituksia noista molemmista.

Nyt en muista mitä esimerkiksi D-wave käyttää, enkä myöskään tiedä esimerkiksi IQM:n kvanttibitin realisaatiosta. Mutta periaatteessa mikä tahansa kvanttimekaaninen kaksitilasytemi kelpaa, ja itse asiassa monessa tilanteessa ei haittaa vaikka tiloja olisi enemmänkin kuin kaksi mikäli kaikista mahdollisista tiloista kaksi tilaa erottuu jotenkin selkeästi erilleen (esimerkiksi ionilla on toki hyvin monta erilaista viritystilaa).

Ehkä kiinnostaisi toimiiko fotosynteesi samalla tavalla kaikissa kasveissa jotka ovat käyttäneet sitä miljardeja vuosia sen jälkeen kun ovat evoluution seurauksena kehittyneet eri suuntiin? Jos ei toimi niin mikä aiheuttaisi sen tehokkuuden tai muut erot?

Se on hyvä kysymys! En itse asiassa tiedä, mutta minun vähäinen ymmärrys on että fotosynteesi toimii nimenomaan samalla tavalla kaikissa kasveissa. Oleellisesti erilaisia tapoja ei ole, joten 'nykyinen' tapa on varmaan jollakin tavoin optimaalinen ja selvästi syntynyt aika varhaisessa vaiheessa. Minusta onkin mielenkiintoista se, että kvanttimekaaniset efektit biologisissa järjestelmissä on niin merkittäviä että luonnonvalinta on ainakin joissakin tapauksissa hyödyntänyt niitä. Toki molekyyli ja dna-tasolla kvanttimekaaniset efektit ovat siellä taustalla, mutta itsestään selvää ei ole että se kuvastuisi mitenkään merkityksellisesti laajempaan mittakaavaan.

En silti saanut videolta hyvää käsitystä siitä, miten kvanttietokone toimii; siellä on kubitteja, joiden tilaa muutetaan mikroaalloilla. Miten käytännössä syötteelle tehdään operaatioita? Miten syöte ylipäätään ja annetaan ja miten tuloste luetaan?

Kiitos kysymyksistä! Videolla olleet kvanttibitit (kubitit) on uskoakseni toteutettu suprajohtavilla transmonkubitteina. Se on jonkinlainen sekoitus varauskubittia ja vuokubittia, jotka ovat ehkä helpompia selittää. Varauskubitti esimerkiksi on pieni sähköpiirin osa, jossa olevien elektronien lukumäärä (eli varaus) määrää kubitin tilan – tila $|0\rangle$ vastaa jotakin elektronien lukumäärää (N) ja tila $|1\rangle$ vastaa yhtä elektronia enemmän (eli $N+1$). Vuokubitit sen sijaan ovat pieniä suprajohtavia renkaita, ja niissä kubitin tilan määrää renkaassa kulkevan sähkövirran suunta (myötäpäivään tai vastapäivään). Erilaisia kubittitoteutuksia on kuitenkin lukuisia muitakin!

Se miten kubitin tilaa muokataan loogisissa operaatioissa riippuu tietenkin sen toteutuksesta. Mutta esimerkiksi vuokubitin tilaa muokataan ulkoisella magneettikentällä (joka on käytännössä toteutettu vuokubitin läheisyydessä olevalla pienellä käämillä). Vastaavasti vuokubitin tila mitataan määrittämällä sen synnyttämää magneettikenttää. Ja kahden vuokubitin väliset operaatiot (esim. AND, OR, XOR, jne. loogiset portit) voidaan toteuttaa kytkemällä tavalla tai toisella niiden magneettikentät toisiinsa.

Tuota "kaikkien reittien yhtä aikaa ottamista" on hankala hahmottaa. Leviääkö se todennäköisyysfunktio ympäriinsä vai kannattaakontätä edes yrittää tämän syvemmin ymmärtää?

Kiitos kysymyksestä! Superpositiotilaa on todellakin vaikea hahmottaa. Tottahan kaikkia asioita kannattaa yrittää ymmärtää syvemmin, mutta kvanttimekaniikan tapauksessa pohjalle jää aina sellainen pieni outous, jonka kanssa vain pitää oppia elämään. Matemaattisesti kaikki on selvää ja monesti jopa aika helppoa, mikä tekee siitä entistäkin mielenkiintoisempaa että loppujen lopuksi emme sitä kykene ymmärtämään... Käsittelemmekin superpositiotilaa ja aaltofunktion kvanttimekaanista luonnetta jo kurssin ensimmäisellä luennolla.

Mietin, että miten voidaan osoittaa, että hiukkanen todella kulkee aaltona, eikä vain todennäköisyysjakamana? Jos aalto romahtaa mitattaessa, ja sitä ei ole mahdollista mitata aaltona, mistä teidämme, että se todella etenee aaltona?

Hyvä kysymys ja se on ollut fyysikoiden päänvaivana aina kvanttimekaniikan alkuajoista saakka ;)

Ns. Kööpenhaminalainen tulkinta (jota useimmat kvanttifyysikot harjoittavat yksinkertaisuuden vuoksi) sanookin että emme voi sitä tietää. Mutta matemaattinen mallimme hiukkasen käyttäytymiselle voidaan tulkita etenevänä aaltona ja tuo samainen malli antaa ennusteita jotka erinomaisesti täsmäävät mittaustulosten kanssa. Tuota aaltoa ei kannata koittaa ymmärtää mitenkään konkreettisesti. Kuten ensimmäisellä luennolla tulemme näkemään, kvanttimekaaninen aaltofunktio ja superpositiotila on yksinkertaisesti niin outo käsite, että epäilen että sitä ei yksinkertaisesti ole mahdollista 'ymmärtää' (joskin tämä riippuu vähän siitäkin, mitä tarkoitamme sanalla 'ymmärtää' ;)).

Tuli kysymyksiä, mutta niihin vastaus selvinnee myöhemmin. En esimerkiksi ymmärtänyt, mitä "quantum beat" tarkoittaa, tai miksi se selittää, että muodostuneet kvanttitilat eivät romahda.

Kiitokset kysymyksestä tai ainakin pohdinnasta! Tässä yhteydessä quantum beatilla tarkoitetaan jonkinlaista interferenssiefektiä eksitonin aikakehityksessä. Se on itse asiassa ihan tuttu ilmiö klassisessa fysiikassa esimerkiksi äänen tapauksessa. 'Beat' on suomeksi huojunta, ja siihen perustuu esimerkiksi soitinten virittäminen. Oleellista siinä on, että meillä on kaksi värähtelijää ja niiden välinen mahdollinen taajuusero synnyttää huojunnan (beat).

Quantum beat ei itse asiassa selitä miksi kvantttilat eivät kasvin eksitoneissa romahda mutta niiden havaitseminen on osoitus siitä että kvantttilat ovat ns. koherentteja, eli ne säilyttävät värähtelijäluonteensa.

Superpositioperiaatteesta heräsi itselleni mieleen kysymys. Miten voidaan olla varmoja partikkelin todennäköisyysjakauman tapaisesta olemuksesta (koherenssi), jos partikkelin voi havaita vain dekoherenssissä tilassa?

Pystymme päättämään koherenssin jälkeensä, joskin sekin on ainakin osittain tilastollinen havainto. Eli toistamalla kokeen moneen kertaan, pystymme päättämään oliko partikkelin tila 'koherentti'. Yleensä tämä havaitaan joko interferenssikuvioista tai sitten jonkinlaisen suureen oskilloivasta aikariippuvuudesta (voit ajatella sen interferenssikuviona ajan funktiona).

Epäselvänä itselle ollut useasti käytetty termi "havainnoidaan" tai "mitataan". Jälkimmäisessä videossa tuli siihen hieman vastausta ja mietin miten siis kvantttila romahtaa (Minkä kanssa toinen partikkeli edes vuorovaikutuksessa, todennäköisyysaallon?)

Hyvä kysymys. Mittaus on keskeinen ja aika epämääräinen käsite kvanttimekaniikassa ja itse asiassa se määritellään niin kutsutun mittauspostulaatin kautta. Miten tuo kvantttilan romahdus tapahtuu on edelleen aktiivisen tutkimuksen aiheena. Saatamme palata asiaan myöhemmin kurssilla.

Pohdin sitä miten kvanttietokoneen prosessori eroaa perinteisestä prosessorista esim. valmistuksen osalta käytetäänkö sen valmistukseen (nano)litografiaa?

Tuo riippuu täysin kvanttietokoneen toteutustavasta, sillä tapoja on tosiaan monta. Mutta ainakin googlen ja ibm:n kvanttietokoneet kai ovat nimenomaan tuollaisia aika perinteisen näköisiä sähköisiä piirejä jotka juurikin jonkinlaisella nanolitografia menetelmällä tehdään. Täytyy kuitenkin sanoa että minulla ei ole tästä mitään tietoa.

Kvanttibiologiastakin olen kuullut ennen ja se kiinnostaa mahdollisena erikoistumisalana. Kiinnostaisi tietää, millaiset mahdollisuudet sen opiskeluun aallossa tai vaihdossa. Ainakin active matter -tutkimusryhmä tekee biologian ja fysiikan aloilla yhteistyötä, mutta onko muitakin mahdollisuuksia?

En usko että Aallostä löytyy kurssuja kvanttibiologiaan liittyen enkä usko että täällä mitään tutkimustakaan aiheeseen liittyen olisi mutta täytyy sanoa että aika heikosti tiedän monen ryhmän toiminnasta. Active matter ryhmällä on tosiaan jotain biojuttuja mutta se ei varmaankaan ole kvanttibiologiaa. Mielenkiintoisia juttuja silti!

Miten on tilanne sen suhteen, että ollaanko täällä aivan maailman kärjessä näissä asioissa vai ovatko kvanttietokoneen kehityksessä isommat toimijat, esim. Google, edellä?

Pitäähän kysäistä Möttöselältä kun en ole tarkkaan seurannut hänen ryhmänsä ja IQM:n toimintaa. Epäilen kuitenkin vahvasti että heillä tuskin on paria kvanttibittiä suurempaa kvanttilaskinta vielä. Tämä on aika hidasta perustutkimusta, vaikka he ovatkin kyllä tätä työstäneet jo aimo tovin. Google ja IBM ovat kyllä paljon pidemmällä mutta hyvä vaan kun tulee lisää toimijoita. Kaikilla on hieman erilaiset toteutustavat ja tällä hetkellä ei tiedetä mikä olisi paras pidemmän päälle. Esimerkiksi ioniloukkukvanttietokoneet ovat jo kymmeniä vuosia vanhat, mutta niissä kehitys on tyystin pysähtynyt koska niiden ongelmana on skaalautuvuus, eli koneen kompleksisuus kasvaa liian nopeasti kvanttibittien lukumäärän kasvaessa.

Toki oma mielenkiintoni ei ole niinkään ohjelmoinnin haasteissa, vaan koko konseptin mahdollistavassa fysiikassa. Se videossa jäikin mietityttämään: miten qubitteja pitää manipuloida, jotta ne antavat vastauksen ratkottavaan ongelmaan?

Erilaisia kvanttietokonetoteutustapoja on hyvin monia ja kullakin on omat 'kubitinsä' ja niihin liittyvät ongelmat ja menetelmät. Itse kvanttilaskenta sitten on tästä fysikaalisesta toteutustavasta ikäänkuin seuraavalla abstraktiotasolla (ja ohjelmointikielet sitten siitä vielä seuraavilla). Useimmissa tapauksissa laskenta on kuitenkin hyvin samankaltaista kuin klassisissa tietokoneissa, joissa bittejä syötetään erilaisiin portteihin (gates): OR, AND, XOR ja niin edelleen. Näillä loogisilla perusoperaatioilla saadaan sitten laskentaa tehtyä. Kvanttietokoneissa portit ovat vähän erilaisia mutta peruseriaate on aika samanlainen. Tämä ei nyt ehkä ihan vastannut kysymykseesi, mutta uskon erilaisten kvanttietokoneratkaisujen tulevan myöhemmin tutuksi.

Ensimmäisessä videossa mainittiin, että kvanttietokoneiden avulla ei voida kamppailla (ainakaan vielä) ilmastonmuutosta ja muita ihmiskunnan suuria haasteita vastaan. Jos joskus kvanttietokoneet mahdollistaisivat näiden ongelmien ratkaisun, miten se konkreettisesti onnistuisi niiden kautta?

Tjaa-a, video meni tuossa ehkä vähän hypetyksen puolelle, mutta toisaalta tiedämme tällä hetkellä tosi vähän siitä minkälaisiin ongelmiin kvanttietokone parhaiten soveltuu. Erilaisia kvantti-algoritmeja on toki jonkin verran, mutta ne ovat (lähes) aina hyvin erikoistuneita johonkin pieneen ongelmaluokkaan. Joskin jos ajatellaan ihmiskunnan tämän hetken ja tuleviakin suuria haasteita, niin ne eivät ole ensisijaisesti matemaattisia ongelmia. Mutta kvanttietokoneista kyllä povataan hyödyllisiä esimerkiksi molekyylien käyttäytymisen laskemisessa mistä voisi kuvitella olevan hyötyä lääketieteessä nyt ainakin ja miksei ehkä materiaali-tekniikassakin.

Onko Aallossa tutkimuksia kvantti-biologiaan liittyen?

Valitettavasti ei ole. Ala on vielä erittäin uusi eikä tutkimusryhmiä ole montakaan.

Jälkimmäiseltä videolta heräsi kysymys: mikäli fotosynteesissä tapahtuu jokin kvantti-ilmiö, voisiko jotain samanlaista hyödyntää kvanttietokoneissa? Ja voisiko tätä lähes 100% tehokkuudella toimivaa prosessia jotenkin hyödyntää esimerkiksi energiateknologioissa?

Luulen että kvanttietokoneiden kehitykseen ei kvanttibiologiasta ole paljoa hyötyä mutta esimerkiksi aurinkokennojen kehittämisessä olen varma että biologisen ilmiön ymmärtäminen olisi erittäin hyödyllistä. En tiedä mikä on aurinkokennojen tapauksessa suurin ongelma (meillähän on Aallossa paljon tutkimusta aiheesta, pitäisi varmastikin käydä kysäisemässä New Energy Technologies-ryhmän ihmisiltä). Tuo 100% tehokkuus viittaa siihen, että fotonin synnyttämä eksitoni päättyy lähes takuuvarmasti tuonne reaktiokeskukseen. Voi olla että tämä ei ole laitteen tehokkuutta rajoittava tekijä aurinkokennoissakaan.

Onko Aallossa jotain kursseja joissa edes vilkaistaan kvanttibiologiaa?

En osaa sanoa. Vahvasti epäilen. NBE:n kursseja voi ehkä katsastaa mutta luulen että meidän aineen rakenne saattaa olla Aallon ainoa ja täälläkin se on toki vain yksi esimerkki monen muun ohessa.

Kvanttikoodikielten kehittäminen kuulostaa myös mielenkiintoiselta! Videolla mainittiin assembly-kielet, ja nopea hakutulosten skimmaus paljastaa sen olevan 'toisen sukupolven' abstraktiotason kieli, mutta video on vuodelta 2018. Kuinka pitkällä abstraktio mahtaa olla tällä hetkellä?

Kvanttietokoneen ohjelmointi on ihan mielenkiintoista. Sitä pääsee itsekin kokeilemaan: <https://quantum-computing.ibm.com/>

Olisiko mahdollista, että sen sijaan että kehitetään mekaanisia kvanttietokoneita, meillä olisikin biologisia kvanttietokoneita, jotka tekisivät saman työn? (Oma vastaus: kuulostaa hieman utopiselta)

Joo, vastauksesi on aika hyvä :) Veikkaan että biologisissa systeemeissä nuo kvantti-ilmiöt ovat kuitenkin sen verran 'ohuita', että ne eivät mahdollista pidempiä moniaskelmaisia laskenta-algoritmeja. Toki tuosta samasta nykyisetkin kvanttibitit ovat lähteneet liikkeelle: ensiksi osoitettiin että niissä on sen verran kvanttimekaanista 'koherenssia' havaitsemalla tietyllä taajuudella tapahtuvia oskillointeja samaan tapaan kuin noissa kasveissa. Tämä on kuitenkin vain se ensimmäinen välttämätön vaatimus kvanttilaskennan kannalta ja epäilen vahvasti että kvanttibiologia ei ehkä (paljoa) sen pidemmälle meitä päästä.

Ehkä tällä hetkellä kiinnostaisi eniten tietää, mikä kvanttietokoneen selvin hyöty suhteessa taviskoneisiin on ja mitkä ovat keskeisimmät ratkaistavat kysymykset ennen niiden laajempaan käyttöön saamista. Kvanttibiologiasta täytyy kyllä katsoa nuo loputkin videot. Onko sillä suunnalla saatu uutta tietoa videon tekemisen 2/2020 jälkeen?

Kvanttietokoneet kaikesta hypetyksestä huolimatta eivät tällä hetkellä ole vielä sillä tasolla että ne korvaisivat taviskoneita vielä missään. Enkä usko että tilanne muuttuu siitä miksikään vielä pitkään aikaan (määrittämättä sen tarkemmin sitä mitä tarkoittaa 'pitkä aika' :D). Mutta kvanttisimulaatioita, joissa jotakin hyvin hallittavaa kvanttimekaanista järjestelmää käytetään simuloimaan jotakin vaikeasti tutkittavaa toista kvanttimekaanista järjestelmää, käytetään jo hyvin ahkerasti. Minulla kaikkein tutuin on atomikaasut (Bosen-Einsteinin kondensaatit ja niiden serkku fermikondensaatit) joilla voidaan simuloida vaikka kvarkkigluoniplasmaa, mustia aukkoja, neutronitähtiä ja korkean lämpötilan suprajohhteita.

Vähän kurssia suunnitellessani selvittelin noita kvanttibiologiajuttuja ja tutkimus etenee hitaasti (tai nopeasti, riippuen näkökulmasta ;)) Kiintoisaa onkin ehkä kuinka monessa biologian aiheessa kvanttimekaniikka näyttää olevan mukana. Itse törmäsin siihen ainakin solujen ja entsyymien toiminnassa, näköaistissa (johon liittyen kurssilla on laskuharjoitustehtävään) ja sitten nämä videollakin mainitut aiheet.

mieleen tulee useita kysymyksiä kuten missä muualla luonnossa kvantti-ilmiöillä olisi mahdollisesti näin suuri merkitys (esim. ihmisen aivoissa?), miten hiukkasten sijainnin todennäköisyydet voidaan määrittää sekä millä mittaustekniikoilla aihetta voi tutkia.

:D Siinäpä hyvä setti kysymyksiä! Kvantti-ilmiöillä on merkitystä vaikka missä. Jätetään aivot ja erityisesti tietoisuus nyt kuitenkin pois, sillä se on aihe mikä tuntuu vetävän puoleensa kaikenlaista hömpää kvanttispiritualismista vihreän lohikäärmeen energioihin. Miksi taivas on sininen? Miksi mikään aine on sen värinen kuin on? Miksi hiilidioksidi on kasvihuonekaasu? Miten fissio, fuusio, ledi, silmä toimii? Miten solujen dna mutaatiot tapahtuvat? Miten maku- tai hajuaisti toimii? Miten entsyymit toimivat? Miksi kynttilän liekki valaisee? Nämä nyt ihan ensimmäiseksi tuli mieleen ja kaikkiin vastaus tai ainakin oleellinen vastauksen osa tulee kvanttimekaniikasta.

Yleisestikin hiukkasten kaikkien ominaisuuksien todennäköisyydet määritetään toistomittauksilla. Yksittäinen mittausta harvoin kertoo meille kauhean paljoa ja siksi kokeet pitää toistaa jotta saamme todennäköisyysjakauman määritettyä tilastollisesti. Tätä havaittua jakaumaa voi sitten verrata teoreettiseen jakaumaan.

Ensimmäisellä videolla puhuttiin kubittien suprajohtavuudesta - onko tämä ominaisuus tavoiteltu dekoherenssin estämiseksi vai onko sille jokin toinen selitys?

On kubittien suprajohtavuudella merkitystä dekoherenssinkin kannalta. Ihan ensinnäkin suprajohtavat kubitit ovat vain yksi tapa toteuttaa kvanttietokone, mutta suprajohhteissa on kyllä

se etu, että suprajohtavuuteen liittyy niin kutsuttu energia-aukko mikä rajoittaa mahdollisia häiriöitä ja virheitä.

En itse asiassa tunne tuota IBM:n kvanttietokoneen rakennetta, mutta veikkaan että IBM:n tapauksessa suprajohtavuus on tärkeä ihan fundamentaalilla tavalla. Luulen, että he käyttävät niin kutsuttuja vuokubitteja (flux qubit), jossa kvanttibitti on toteutettu suprajohtavassa renkaassa kulkevana sähkövirtana. Kvanttibitin arvo (0 tai 1) on sitten tuon sähkövirran suunta, eli kiertääkö se rengasta myötä- vaiko vastapäivään. Jotta tuo sähkövirta irrallisessa renkaassa (ilman jännitelähdettä!) olisi mahdollinen, täytyy sähköisen vastuksen olla nolla.

Esim. mitä kvanttietokoneen kubitit käytännössä ovat, miten niitä mitataan ja mistä tiedetään mittauksesta saadun tuloksen olevan asetetun ongelman ratkaisu?

Kvanttietokoneen erilaisia toteutustapoja on lukuisia ja kussakin on omansalaiset kubitit. Tärkeimmät tällä hetkellä ovat ionin viritystila (ion trap), ylimääräinen varaus sähköpiirissä (charge qubit), sähkövirta suprajohtavassa renkaassa (flux qubit). IBM:n ja googlen kvanttietokoneet perustuvat noihin suprajohtaviin virtapiireihin, mutta en itse asiassa tiedä sen tarkemmin mitä he käyttävät kubittina.

Kuten yleensäkin kvanttimekaniikassa, yksittäinen mittaaminen ei hirveän paljoa meille kerro vaan sen sijaan kokeet toistetaan moneen kertaan jotta saadaan jakauma mittaustuloksista. Se että onko kvanttilaskennan lopputulos oikein onkin sitten hyvä kysymys :) Mutta ei se toisaalta ole klassisessakaan laskennassa helppoa: jos olet tehnyt pitkän koodin joka laskee jonkin monimutkaisen laskun, niin mistä tiedät että saamasi vastaus on oikein? Uskomme varmaan että kone on laskenut oikein, mutta virhe onkin todennäköisesti jossakin ihan muualla kuin tietokoneen laskenta-arkkitehtuurissa!

Viikon 1, keskiviikon esitehtävä:

Videolla käsiteltiin kumisia kappaleita, joissa impulssi etenee suhteellisen hitaasti, joten aaltoliikkeen etenemisen voi havaita silmin. Jos kuitenkin kuvitellaan jäykkä kappale (esim. metalli), joka oletetaan todella pitkäksi (vaikka valosekunti). Mitä tapahtuu, kun metallia kääntää toisesta päästä? Liikkuuko metallin toinen pää saman tien, vai päteekö tähänkin universumin nopeusrajoitus, ja liikkuuko toinen pää aikaisintaan sekunti impulssin lähettämisen jälkeen?

Juu, pätee 'universumin nopeusrajoitus', eli ainakin se sekunti siinä menee. Mutta käytännössä siinä menee paljon pidempäänkin, koska tangon pään kääntö aiheuttaa kiertävän häiriön (aallon) joka etenee tangossa äänennopeudella. Ja siis äänennopeudella siinä materiaalissa mistä tanko on tehty. Esimerkiksi metalleissa tuo äänennopeus on muutaman kilometrin sekunnissa luokkaa. Äänennopeus määräytyy pitkälti aineen ionien välisistä vuorovaikutuksista – mitä tiukemmin ne ovat toisiinsa sitoutuneet, niin sitä suurempi on äänennopeus. Ja tokihan pohjimmiltaan nuo vuorovaikutukset ovat kuitenkin sähköiset, eli seuraava ioni ei huomaa toisen ionin liikettä ennen kuin sähkömagneettinen häiriö on ehtinyt siirtyä ionien välisen matkan.

Onko vaihe-erosta mielekästä puhua myös tapauksissa, joissa aaltojen/liikkeen taajuudet eroavat toisistaan?

Juu, voidaan määritellä vaihe-ero myös eritaajuuksisille jaksollisille liikkeille mutta silloin vaihe-ero luonnollisesti riippuu ajasta. Mutta ihan hyödyllinen käsite se monesti on silloinkin, sillä sen avulla voidaan ymmärtää konstruktivistista ja destruktiivista interferenssia ja esimerkiksi huojunta-ilmiötä.

En tiedä, onko tämä kysymys järkevä, mutta miten esim. plasmassa tai supranesteessä aalto etenee?

Kysymys on ilman muuta järkevä. Itse asiassa ääniaaltojen eteneminen supranesteissä on yksi minun tutkimuskohteistani :D

Noita aaltoja voi tosiaan olla monenlaisia ja supranesteissä erityisesti on jopa monenlaisia ääniaaltoja. Yhteistä niissä kaikissa on paineen vaihtelu, eli supranesteen hiukkasten väliset vuorovaikutukset kuljettavat painehäiriötä eteenpäin väliaineessa. Aaltojen etenemiseen tarvitaankin yleensä jonkinlainen palauttava voima, joka pyrkii palauttamaan systeemin jonkinlaiseen tasapainotilaan. Tosin esimerkiksi sähkömagneettisella säteilyllä ei ole mitään 'palauttavaa voimaa'.

Missä määrin erilaisten aaltoliikkeiden nopeudet väliaineissa ovat toisistaan riippuvaisia. Voitaisiinko esimerkiksi valmistaa ainetta, jossa juuri yhdenlainen aaltoliike kulkisi selkeästi muita nopeammin ja sen voisi siten erottaa muusta aaltoliikkeestä?

Kyllä vain. Itse asiassa tämän kevään ylioppilaskirjoitusten fysiikan tehtävissä oli kysymys, johon tekin varmaan osaisitte vielä vastata. Tehtävässä tarkastellaan maanjäristysten synnyttämiä P- ja S-aaltoja. P-aallot ovat pitkittäistä aaltoliikettä ja S-aallot poikittaista aaltoliikettä ja molemmat siis kulkevat saman maapallon läpi. Näillä kahdella aaltoliikkeellä on eri etenemisnopeudet, mitä voidaan hyödyntää maanjäristyksen paikan määrittämiseen. Olen ymmärtänyt että tämä on yleinen ominaisuus kiinteissä aineissa, eli että poikittainen ja pitkittäinen aalto etenee niissä eri nopeuksilla.

Vanhat videot ovat hienoja! Löytyykö niitä jostain multimediatekijäpankista?

Ne ovat ehdottomasti minunkin suosikkejani ja olisi ihan mahtavaa jos laitokselta löytyisi resursseja ja innostusta vastaavien uusienkin videoiden tekoon.

Löysin PSSC:n videot alunperin youtubesta jonkun kanavalta mutta ne piti poistaa sieltä tekijänoikeuksien vuoksi (en saata uskoa että joku vielä vahtii näiden videoiden tekijänoikeuksia!) Mutta ne löytyvät vielä ainakin internet archivistista, tässä linkki:

<https://archive.org/search.php?query=pssc>

Siellä on tosiaan paljon hyviä videoita, joskin osa on aika verkkaisia vauhdiltaan.

Videosta tuli kysymys, että mikä aaltoluvun merkitys on? Mihin siitä on hyötyä?

Aaltoluku ei ehkä ole se kiinnostavin suure vaan mitä itse asiassa kaipaamme on aaltovektori. Aaltoluku on aaltovektorin itseisarvo. Aaltovektorin suuruus on siis $2\pi/\lambda$, eli se määräytyy suoraan aallonpituudesta ja sen suunta on aallon etenemissuunta. Aaltovektorilla on suora yhteys aallon liikemäärään ja energiaan. Toki se on johdannaissuure aallonpituudesta (plus suunta), joten välttämätön se ei ole. Esimerkiksi valokvantin (fotonin) liikemäärä on $\vec{p} = \hbar \vec{k}$ (mikä ei yhdessä ulottuvuudessa ole sen monimutkaisempi aallonpituuden avulla esitettynä, $p = h/\lambda$, mutta sekä aaltovektori että liikemäärä ovat vektorisuureita joten suunta tulee tuosta helposti mukaan.)

Tällä kurssilla käsitellään aaltoliikettä ja kvanttimekaniikkaa. Onko (ehkä tässä tapauksessa juuri mekaaniset) aaltoliike/aaltoliikkeet yleisesti klassisia ilmiöitä vai liittyykö niihinkin jotain kvanttimekaanisia piirteitä jos tarkastellaan esimerkiksi muuta kuin itse liikettä ja sen etenemistä, esimerkiksi vuorovaikutuksia väliaineessa?

Kvanttimekaniikka on toki lopulta kaikessa taustalla ja esimerkiksi kiinteässä aineessa etenevät aallot ovat loppujen lopuksi aineen ionien, molekyylien ja/tai atomien välistä vuorovaikutusta (venytyksiä, puristuksia ja kiertoja). Mutta kysymyksellä varmaankin tarkoitat, että pystymmekö selittämään kaiken esimerkiksi mekaanisista aalloista ilman että tarvitsee mennä aivan kvanttitasolle.

Normaaleissa arkielämän tilanteissa kvanttimekaniikkaa tuskin tarvitaan, mutta esimerkiksi supranesteiden (esimerkiksi riittävän kylmä nestehelium) tapauksessa yksinkertainen äänen eteneminen on jo kvanttimekaaninen efekti. Itse asiassa kvanttimekaniikka tuo supranesteisiin ihan omanlaisiaan äänimoodeja perinteisen paineaallon ohelle. Ja voisin kuvitella että joissain uusimmissa metamateriaaleissa, joissa yhdistellään erilaisia aineita jotta saadaan luotua kokonaisuuksia joiden ominaisuudet voivat poiketa paljonkin normaalista voisi kvanttimekaaniset ilmiöt olla aika voimakkaasti taustalla.

Kolmannesta videosta heräsi mieleen, että onko pyöräytysliike pitkittäistä vai poikittaista aaltoliikettä, vai omanlainen etenemistapa?

No tuo on hyvä kysymys! En itse asiassa tiedä miten se on määritelty. Pikaisella googlailulla sain sellaisen kuvan että pyöräytysliike (torsional wave) on oma aaltoliikkeensä.

Vaihe-ero tarkoittaa sitä, että kahden aallon vastaavat osat esim. huiput ovat eri kohdassa. Jotta voidaan mielekkäästi puhua vaihe-erosta, aalloilla pitänee olla sama aallonpituus?

Ei tarvitse olla sama aallonpituus ja itse asiassa voimme puhua vaihe-erosta vaikka toinen liike olisi paikallaan eli siinä ei ole aallonpituutta laisinkaan. Itse asiassa aallon tapauksessakin joudumme kiinnittämään tarkastelupisteen, jotta tuo vaihe olisi hyvin määriteltä koska vaihe on erisuuruinen eri kohdissa aaltoa.