

Tilasiirtymien tutkiminen Unimon-kubitissa numeerisilla simulaatioilla

Kvanttitietokoneiden tutkimus on viime vuosikymmeninä edennyt nopeasti, koska ne tarjoavat mahdollisuuden ratkaista laskennallisesti haastavia ongelmia, joita klassiset tietokoneet eivät pysty käsittelemään tehokkaasti. Kvanttitietokoneilla voitaisiin käyttää esimerkiksi kvanttialgoritmien toteuttamiseen sekä kvanttisimulaatioihin nanoteknologian ja biofysiikan tutkimuksessa. Kvanttitietokoneet perustuvat kvanttitiloihin eli kubitteihin, jotka ovat kahden kvanttitilan lineaarinen superpositio. Tehokkaan kvanttilaskennan toteuttaminen edellyttää, että kubitin tila voidaan mitata muuttamatta sen tilaa.

Suprajohtavat piirit ovat nousseet yhdeksi lupaavimmista toteutustavoista kubittien laajamittaiseen toteuttamiseen. Toimiakseen kubittina piirin on oltava epäharmoninen eli sen energiatasojen välien on oltava erisuuruisia, jotta laskenta voidaan rajata kahteen alimpaan energiatilaan. Kahta alinta energiatilaa kutsutaan laskennalliseksi aliavaruudeksi. Seminaarissa tarkastellaan erityisesti uutta vuonna 2022 kehitettyä suprajohtavaa Unimon-kubittia, joka on erityisen mielenkiintoinen sen korkean epäharmonisuuden ansiosta.

Suprajohtavien kubittien tilan mittaamisessa yleisin käytetty menetelmä on dispersiivinen luenta. Dispersiivisessä luennassa kubitti on kytketty resonaattoriin (eli LC-piiriin) siten, että resonaattorin resonanssitaajuus riippuu kubitin tilasta. Kun resonaattoria ajetaan mikroaaltosignaalla, kubitin tila aiheuttaa sen resonanssitaajuuteen pienen siirtymän, joka näkyy resonaattorin heijastetun tai läpäisseen signaalin muutoksena. Menetelmä mahdollistaa teoriassa kubitin tilan mittaamisen ilman suoraa häiriötä kubittiin.

Mittauksissa dispersiivisen luennan on kuitenkin havaittu vaikuttavan kubitin tilaan. Tästä syystä tutkimuksen kohteeksi ovat nousseet kubittien mittauksen aiheuttamat tilasiirtymät. Ilmiön ymmärtäminen on keskeistä kvanttitietokoneiden ja kvanttilaskennan toteuttamiselle. Numeeriset simulaatiot tarjoavat tehokkaan keinon tutkia mittauksen aiheuttamien tilasiirtymien dynamiikkaa. Simulaatioilla voidaan analysoida, miten kubitin ja siihen kytketyn resonaattorin parametrit, kuten kubitin ja resonaattorin taajuudet, vaikuttavat mittauksen aiheuttamiin tilasiirtymiin. Näin voidaan ennustaa tilanteita, joissa mittaus saattaa aiheuttaa tilasiirtymiä, ja siten välttää epätoivotut tilasiirtymät.

Seminaarissa esitetään Unimon-kubitille saadut tulokset numeerisista simulaatioista, joissa tarkastellaan, miten mitattavat parametrit vaikuttavat mittauksen aiheuttamiin tilasiirtymiin. Simulaatiot osoittavat, että kubitin ja resonaattorin parametrien säätäminen vaikuttaa suoraan mittauksen aiheuttamiin tilasiirtymiin. Tulosten mukaan kubitin epäharmonisuuden kasvattaminen sekä resonaattorin ja kubitin välisen taajuuseron suurentaminen vähentävät epätoivottuja tilasiirtymiä. Lisäksi esitetään simulaation yksinkertaistettu malli, joka on sovellettavissa yleisesti suprajohtaville kubiteille.