

Tieteen popularisointi

Kvanttipiirit

Esa Kivirinta

esakiv (at) gmail.com

Materiaali on tarkoitettu yläasteen fysiikan oppitunneille lisämateriaaliksi sekä yleisesti peruskoulun suorittaneille. Materiaalissa käydään läpi yleisesti kvanttipiirien toimintaa ja käyttökohteita. Lisäksi kerrotaan kvanttioptiikan tutkimuksesta sekä yleisesti että erityisesti Oulun yliopistossa.



Transistorit

Normaalien prosessorien ja erityisesti transistorien valmistaminen tarvitsee kvanttimekaniikan ymmärtämistä sillä puolijohteet, joiden pohjalle nykyinen digitaalitekniikka on rakennettu, vaatii kyseisten puolijohteiden atomirakenteen tarkkaa laskennallista ymmärtämistä. Tämä atomirakenne ja siellä liikkuvien elektronien mekaniikka on lähes täysin niin sanotun klassisen sähkömagnetismin ulkopuolella ja vaatii modernia fysiikkaa. Ensimmäiset digitaaliset tietokoneet kuitenkin käyttivät transistorien sijasta tyhjiöputkia, joita voi käsitellä yksinkertaisemmin.

Uusimpien transistorien koot alkavat lähestyä yksittäisten atomien ja molekyylien kokoja. Koska transistorit täytyy rakentaa atomeista, niiden koko on absoluuttinen alaraja. Tämän takia perinteisten tietokoneiden laskentatehon eksponentiaalinen kasvu tulee pysähtymään pian, ellei tähän ongelmaan löydetä täysin uudenlaista ratkaisua. Yksi mahdollinen osittainen ratkaisu voisi olla kvanttietokoneet, joissa bittien sijaan laskenta tapahtuisi kubiteilla. **Kubitti** voi saada arvot 0 ja 1 kuten transistorin bittikin, mutta toisin kuin bitti se on ennen laskun suorittamista kummassakin arvossa yhtäaikaisesti eli se on ns. **superpositiossa**. Vasta kubittia mitatessa se asettautuu jompaankumpaan arvoon. Tämä ero johtaa merkittävästi suurempaan laskentatehoon.

Kvanttipiirit

Kvanttietokoneet teoriassa pystyvät laskemaan tietyn tyyppisiä ongelmia merkittävästi nopeammin kuin perinteiset tietokoneet. Tällaisia ongelmia ovat esimerkiksi datan löytäminen todella nopeasti valtavasta tietokannasta tai monimutkaisten yhtälöiden ratkaiseminen hetkessä. Toisin sanoen kvanttipiireistä hyötyvät eniten ongelmat eli laskut, joissa on hyvin suuri määrä mahdollisia lopputuloksia mutta vain yksi tai muutama oikea ratkaisu. Eräs todennäköinen käyttökohde on tekoälyt kuten esimerkiksi itseajavat autot. Kvanttietokoneet eivät kuitenkaan pysty korvaamaan perinteisiä tietokoneita täysin, koska suuri osa laskuista ei ole tällaisia, kuten esimerkiksi videon lataaminen, purkaminen ja toistaminen näytöllä. Suurin osa tulevista käyttökohteista tulevat esille todennäköisesti vasta sen jälkeen, kun kvanttikoneet ovat saapuneet yleisesti käytettäviksi.

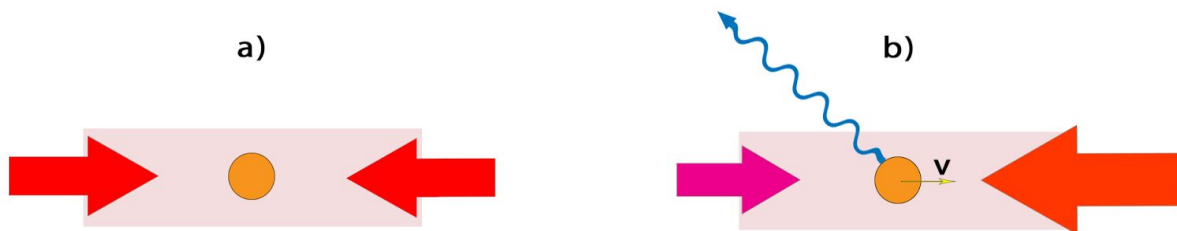
Vaikka edellä kuvatut kvanttietokoneet eivät ole vielä täysin saavutettavissa, ensimmäiset teolliset askeleet näitä kohti on jo otettu. Yhdysvalloista kotoisin oleva **D-Wave Systems** -yritys on valmistanut tietokoneita, joissa koneeseen on lisätty kvanttimekaanisesti käyttäytyviä piirejä. Kyseiset piirit ovat ilmeisesti työstettyjä versioita tutkittaviin kubitteihin verrattuna. Kuitenkin näillä koneilla on ilmeisesti saatu hyvin positiivisia tuloksia, jotka osoittavat että kvanttietokoneet pystyvät ratkaisemaan oikein aseteltuja ongelmia huomattavasti nopeammin kuin perinteiset tietokoneet. Lisäksi **IBM** on alkanut tarjota asiasta kiinnostuneille mahdollisuutta ohjelmoida ja käyttää 50-100 kubitin kokoista kvanttietokonetta, kuitenkin ilmeisesti vain 5 kubittia kerrallaan. Projekti on avoin suurelle yleisölle ja sen tarkoitus on tuoda ihmisille mahdollisuus tutustua teknologiaan, kun se muuten olisi vain saatavilla tieteentekijöille ja insinööreille.

Tutkimus

Oulussa kvanttipiireihin liittyvä tutkimus tapahtuu teoreettisen fysiikan laitoksella. Tarkemmin ottaen tutkimus keskittyy niin kutsuttuihin **kvanttioptiikkaan** ja **optomekaniikkaan**, joista kumpikin keskittyy tutkimaan sähkömagneettista säteilyä eli fotonien käyttäytymistä säteilynpaineen avulla. **Säteilynpaineella** kuvataan sitä hyvin pientä painetta, joka kohdistuu kaikkiin kiinteisiin pintoihin sähkömagneettisten kenttien kuten valon vaikutuksesta. Kuten laitoksen nimestä voi päätellä, tutkimus on teoreettista eli ratkaisujen etsimistä paperilla ja tietokoneilla. Itse piirien rakentaminen ja ilmiöiden testaaminen tapahtuu muualla, mm. Aalto-yliopiston kylmälaboratoriossa.

Päämotivaatio nykyiselle kvanttioptiikan tutkimukselle on tietenkin aiemmin mainitut kvanttietokoneet, joiden tutkimiseen ja kehittämiseen on lisätty rahoitusta viime vuosina huomattavasti. Toinen motivaatio kvanttioptiikan tutkimukselle kvanttietokoneiden lisäksi on äärimmäisen herkkien mittausrakenteiden ja menetelmien kehitys niin tutkimuksen kuin teollisuudenkin käyttöön.

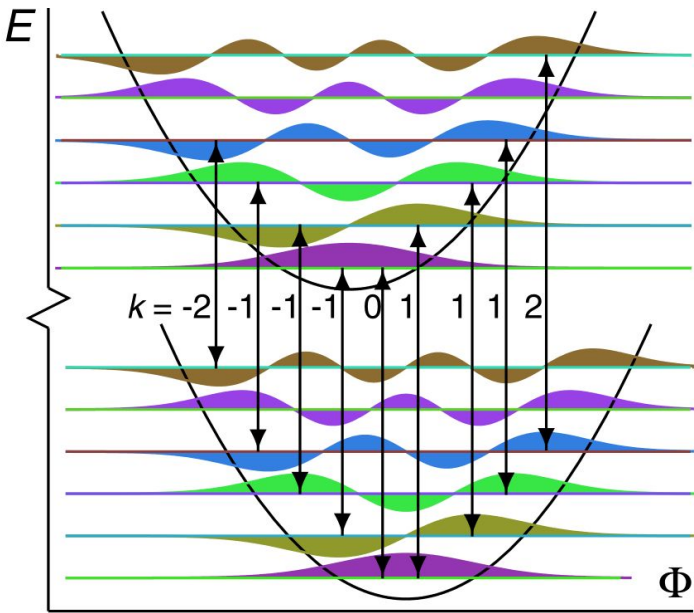
Kvanttioptiikan tutkimuksesta on jaettu neljä fysiikan Nobelpalkintoa vuosina 1997, 2001, 2005 ja 2012. Vaikka tutkimusala on suurelle yleisölle lähes tuntematon, tutkijoiden piireissä sitä selvästi pidetään erittäin tärkeänä. Merkittäviä tutkimustuloksia alalta on mm. Doppler- eli laserjäähdyttäminen, kvanttilomittuminen, kvanttiteleportaatio sekä kvanttiportti.



Doppler-jäähdytys on kvanttioptinen ilmiö, jossa atomit viilenevät, kun ne vangitaan laserien väliin.

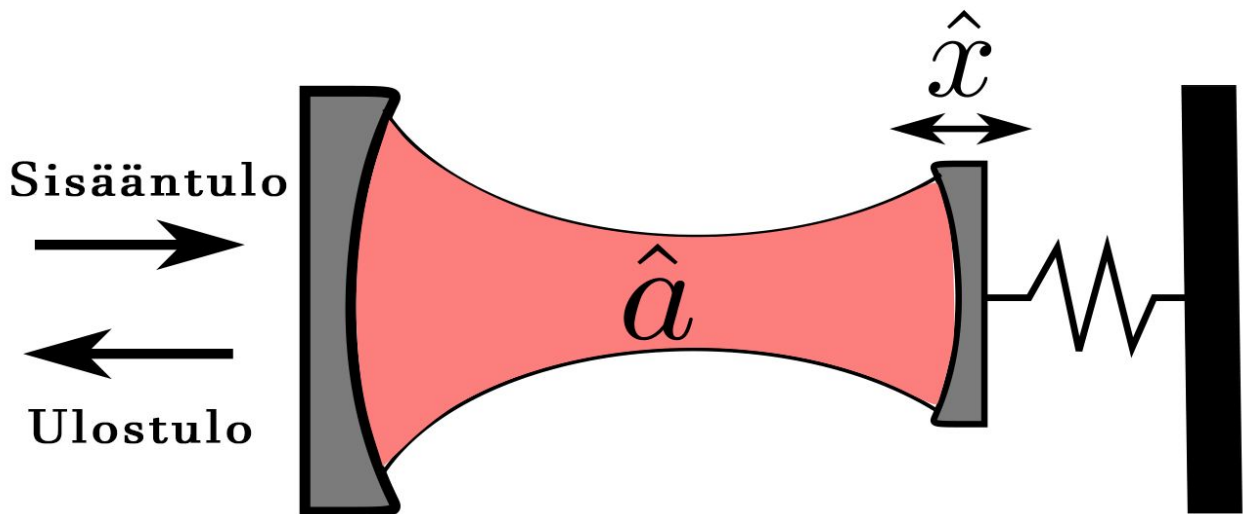
- Oranssi pallo on atomi ja punaiset viivat lasereita, joiden aallonpituus on sama.
- Kun atomi liikkuu johonkin suuntaan se menettää liike-energiaansa. Koska lämpötila on vain suuren atomijoukon liikettä, vangitun aineen lämpötila laskee.

Kuva: Esa Kivirinta



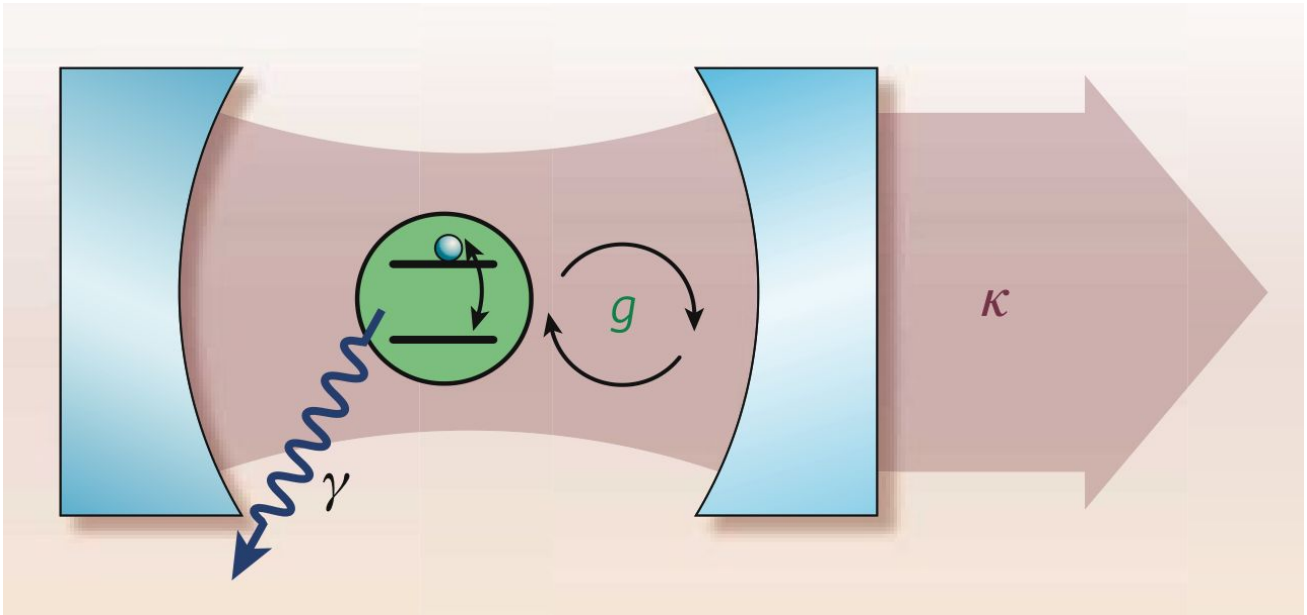
Kuvassa malli keinotekoisin molekyylin energiatasojen siirtymistä.

Kuva: David Gunnarsson, Jani Tuorila, Antti Paila, Jayanta Sarkar, Erkki Thuneberg, Yuriy Makhlin, ja Pertti Hakonen: Vibronic Spectroscopy of an Artificial Molecule, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.256806>



Yleinen kahden peilin optomekaaninen tutkimusjärjestely, jossa oikealla puolella peili on liitetty mekaaniseen värähtelijään. Peilien välissä on vangittuna sähkömagneettista säteilyä kuten valoa.

Kuva: A. Nunnenkamp, K. Borkje, S. M. Girvin: Single-photon Optomechanics, [10.1103/PhysRevLett.107.063602](http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.107.063602)



Toinen esimerkki kahden peilin optomekaanisesta tutkimusjärjestelystä. Kahden peilin välissä on keskellä tutkittava materiaali.

Kuva: R. J. Schoelkopf & S. M. Girvin: Wiring up quantum systems, *Nature* 451, 664-669(7 February 2008)