

Väitöstyö: Tarkka sähkövirta yksittäisistä elektroneista

Mittatekniikan keskuksen tutkija Antti Kemppisen väitöstyössä on tutkittu kokeellisesti erilaisia nanorakenteita sähkövirran tuottamiseksi yksittäisistä elektroneista. Työn motivaationa on mittaustieteen eli metrologian yleinen tavoite: SI-mittayksikköjärjestelmän uudistaminen niin, että kaikkien yksiköiden määritelmät perustuvat luonnonvakioihin. Sähkövirran osalta siihen ei ole vielä käytännössä pystytty. Yhdysvalloissa 90-luvulla kehitetty menetelmä tuotti erittäin tarkan virran, mutta se oli kuitenkin suuruusluokaltaan vain noin 1 pA. Metrologit tarvitsevat vähintään sata- tai tuhatkertaisen virran.

Yksittäisiä elektroneja pumpataan nanorakenteessa sähkökentän avulla, jonka toistotaajuus perustuu atomikelloihin. Esimerkiksi metri määritellään nykyään vastaavalla tavalla valonnopeuden ja atomikellojen avulla. Luonnonvakio pohjaiset mittanormaalit, kuten myös työssä tutkitut elektronipumput, perustuvat usein kvanttimekaniikkaan, jolloin niistä käytetään termiä kvanttinormaali.

Antti Kemppisen väitöskirjassa on tutkittu kahta Teknillisen korkeakoulun Kylmälaboratoriossa keksittyä ideaa, jotka mahdollistavat tarvittavan suuremman virran tuottamisen. Molemmat perustuvat yhden elektronin transistorin nanorakenteeseen. Toisessa transistori on kokonaan suprajohtava ja toisessa suprajohteen ja tavallisen johteen yhdistelmä. Väitöskirjassa osoitetaan, että edellisellä, niin kutsutulla Cooperin parien sululla, voidaan tuottaa hyvin suuri virta, noin 1 nA, mutta sen tarkkuus ei ainakaan vielä ole riittävä. Jälkimmäinen idea, niin sanottu SINIS-portti (Superconductor/ Insulator/ Normal metal/ Insulator/ Superconductor), on osoittautunut erääksi lupaavimmista kandidaateista sähkövirran kvanttinormaaliksi.

Väitöskirjassa on tutkittu kokeellisesti SINIS-portin perusominaisuuksia ja erilaisia tapoja parantaa sen tarkkuutta. Tällä hetkellä SINIS-portin tarkkuus lähentelee perinteisiä ei-luonnonvakio pohjaisia mittanormaaleja. Tarkkuutta on vielä parannettava, ennen kuin laitteella on merkitystä SI-järjestelmän kannalta. Teoreettisesti sen pitäisi olla mahdollista. Tässä työssä yksittäisellä SINIS-portilla pumpattiin jopa yli 100 pA:n virtoja. Parhaalla tarkkuudella virta rajoittuu noin 10-30 pA:iin. Laitteen operointi on kuitenkin paljon yksinkertaisempaa kuin aiemmilla virtapumpuilla. Siksi SINIS-portteja voidaan kytkeä useita rinnakkain, mikä moninkertaistaa kokonaisvirran.

SINIS-portti on herättänyt huomattavaa kansainvälistä kiinnostusta, minkä ansiosta tätä väitöstutkimusta on voitu tehdä yhteistyössä muun muassa japanilaisten, saksalaisten ja yhdysvaltalaisien huippuryhmien kanssa. Suomessa työhön ovat osallistuneet Mittatekniikan keskus ja TKK:lla professori Jukka Pekolan tutkimusryhmä. Onnistuessaan virtapumppu on oleellinen osa laajempaa kvanttimetrologiakolmioprojektia, jossa tutkitaan, toimiiko Ohmin laki kvanttitasolla. Kolmioprojektiin osallistuu MIKESin ja TKK:n ohella myös VTT:n kvantroniikkaryhmä.

Vaikka väitöskirjan päätavoite on ollut metrologinen, työ on poikanut myös muita matalien lämpötilojen nanoelektronikan sovelluksia. Tässä työssä on kehitetty muun muassa uudentyypinen suprajohtava interferenssilaitte, niin sanottu balansoitu SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), jolla supravirtaa voidaan kontrolloida aiempaa tarkemmin. SINIS-porttirakennetta on puolestaan käytetty radiotaajuisena elektronijäähdyttimenä. Kyseistä menetelmää voitaisiin käyttää esimerkiksi nanokokoluokan herkkien mittalaitteiden kohinan vaimentamiseen.

Tutkija Antti Kemppinen on opiskellut Teknillisessä korkeakoulussa. Hän on työskennellyt Mittatekniikan keskuksessa vuodesta 2003 tutkien sähkösuureiden kvanttinormaaleja. Kemppinen väittelee 16.10. kello 12 Teknillisen korkeakoulun informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunnassa, osoitteessa TUAS-talo, Otaniementie 17, sali AS1. Vastaväittäjänä toimii professori Per Delsing Chalmersin teknillisestä korkeakoulusta. Väitöstyön otsikko on englanniksi "Tunnel junction devices for quantum metrology" ja suomeksi "Tunneliliitoslaitteet kvanttimetrologiassa".

Lisätietoja:

Tutkija Antti Kemppinen, puhelin 010 6054 411, antti.kemppinen@mikes.fi

Väitöskirja on luettavissa TKK:n sivulta: <http://lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789525610543/>.

Tämä on Mittatekniikan keskuksen uutiskirje. www.mikes.fi

Voit liittyä tai poistua sähköpostilistalta lähettämällä viestin osoitteeseen: info@mikes.fi