

Kylmässä kohina karsiutuu

■ Markus Hotakainen

Aalto-yliopistossa toimiva matalien lämpötilojen kvantti-ilmiöiden ja komponenttien huippuyksikö on yksi Suomen Akatemian viisivuotiskauden 2012–17 yhteensä viidestätoista yksiköstä. Nimensä mukaisesti yksikön tutkimustyössä yhdistyy kolme haastavaa alaa: kylmäfysiikka, kvanttimekaniikka ja nanoteknologia. Taustalla on vahva suomalainen perinne matalien lämpötilojen tutkimuksessa.

Kylmäfysiikassa tehdään tutkimusta lähellä absoluuttista nolapistettä – Aalto-yliopiston huippuyksikössä noin asteen kymmenyksen sisällä, vain aavistuksen nolapisteen yläpuolella. Kun samaan projektiin yhdistetään nanotekniikka ja vielä pienemmän mittakaavan kvanttifysiikka, tutkimukseen liittyy monia haasteita. Miten alojen yhdistäminen on onnistunut?

– Kyse on oikeastaan historiallisen kehityksen tuloksesta, toteaa yksikköä johtava professori Jukka Pekola.

– Meillä on perinteisesti ollut vankkaa osaamista matalien lämpötilojen tutkimuksessa ja siihen liittyvässä tekniikassa. Toisaalta kvantti-ilmiöt ovat pelkistetyimmillään alhaisissa lämpötiloissa, jolloin niitä on kaikkein helpoin tarkastella: mittauksia häiritsevä kohina on hyvin vähäistä. Nanorakenteet puolestaan ovat näiden ilmiöiden realisaatioita. Niidenkin tutkimiseen meillä on hyvät edellytykset, koska olemme harastaneet jo parinkymmenen vuoden ajan mesoskoopista fysiikkaa. Siinä valmistetaan hyvin pieniä sähköä johtavia rakenteita, joita voidaan käyttää kvantti-ilmiöiden tutkimiseen matalissa lämpötiloissa. Tässä ympyrä tavallaan sulkeutuu.

Puhtaan perustutkimuksen ja erilaisten ilmiöiden tarkastelun lisäksi yksikön toiminnassa on mukana soveltava puoli, komponentit. Aalto-yliopiston kanssa kimpassa on Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, missä tehdään kahden yksikön voimin etupäässä suprajohtavien kvanttikomponenttien kehitystyötä. Yksi esimerkki tällaisista komponenteista on jo 1960-luvulla kehitetty SQUID eli Superconducting Quantum Interference Device -magnetometri, jota on käytetty jo pitkään aivojen magneettikuvauksessa.

–Uusia sovellutuksia ovat esimerkiksi terahertsikuvantamismenetelmissä käytettävät suprajohtavat anturit ja matalien lämpötilojen tutkimukseen soveltuvat kalorimetrit. Lisäksi olemme VTT:n ja MIKESin eli Mittatekniikan keskuksen kanssa rakentamassa kvanttikolmiota.

Niin sanotun kvanttimetrologiakolmion komponenteista kaksi, Josephson-jännite ja kvantti-Hall-resistanssi, on jo tutkijoiden käytössä. Kolmiosta uupuu vielä sähkövirran kvanttimekaaninen määrittely. Sähkövirran yksikö ampeeri määrittellen edelleen virtajohtojen välisen klassisen voiman avulla.

– Tavoitteenamme on määritellä ampeeri uudella tavalla luonnonvakioiden avulla, sanoo Pekola vaatimattomasti.

– Vielä on kuitenkin paljon tekemistä ja maaliin on matkaa. Virhelähteet ovat jo hallinnassa, mutta emme ole aivan sillä tasolla, jota vanhojen määritelmien syrjäyttäminen vaatisi. Toistaiseksi joudumme käyttämään virheiden määrittämiseen perinteisin menetelmin mitattujen virtojen vertailua, mutta meidän on pystyttävä tekemään se laskemalla yksittäisiä elektroneja.

Pekolan yksikkö on kuitenkin teoriatasolla kilpailijoita edellä. Periaatteessa mikään ei estä tavoitteen saavuttamista, mutta se vaatii vielä ankaraa työtä. Lopputulos on silti tavoittelemisen arvoinen. Sähkövirta olisi yhtä kuin elektronin varaus kertaa taajuus, jolla ne johtimessa etenevät.

– Silloin saataisiin määritelmä, joka olisi paitsi eksakti myös perustuisi luonnonvakioihin eikä olisi keinotekoinen, johtimien välillä vallitseviin voimavaikutuksiin pohjautuva.

Usein väitetään, ettei perustutkimuksesta ole mitään käytännön hyötyä, ja siksi pitäisi keskittyä vain sovellusten kehittämiseen. Aalto-yliopiston huippuyksikössä yhdistetään sujuvasti kolme eri alaa sekä perus- ja soveltava tutkimus. Pääosassa on silti perustutkimus.

– Sovellutuksia on aika lyhytnäköistä yrittää tehdä ilman perustutkimuksen antamaa vankkaa pohjaa. Olemme kuitenkin pyrkieneet saamaan mukaan tutkijoita eri tahoilta, jotta kummallakin puolella päästäisiin eteenpäin. Sen vuoksi yhteistyökumppanimme on VTT, jonka kanssa olemme tehneet tiivistä yhteistyötä aiemminkin. Näin olemme saaneet aikaiseksi toimivan ”ravintoketjun”.

Sen lisäksi, että huippuyksikössä kehitellään käytännön sovelluksia, tutkimus poikii spin-off-yrityksiä, jotka pystyvät kaupallistamaan perustutkimuksen tuloksia. Vastikään julkistettiin uuden Asqella Oy:n saama rahoitus, jonka turvin kehitetään terahertsikuvannusteknologiaan perustuvia, turvatarkastuksissa käytettäviä kameroita. Uudenlaiset kamerat tulevat markkinoille ensi vuonna.

– Viime vuosina on saatu kehitettyä useita muitakin kaupallisia sovelluksia. Esimerkiksi jäähdystekniikassa on pystytty kehittämään kuivia laimennusjäädyttimiä, joissa on päästy kokonaan eroon nesteheliumista. Niiden avulla matalien lämpötilojen tekniikan soveltaminen vaatii vain sähköä.

Tuloksista saatava hyöty ei siis rajoitu pelkästään perustutkimuksen tuoman tiedon lisääntymiseen ja sen käyttöön käytännön sovellutusten kehittämisessä, vaan sitä käytetään myös uusien työkalujen kehittämiseen tieteellisiin ja kauppal-

lisiin tarkoituksiin. Pekola näkee kuitenkin mielekkäänä tutkimustyön ja kaupallisen toiminnan pitämisen erillään.

– Perustutkimuksesta kiinnostuneiden ei kannata uhrata resurssejaan tulosten kaupallistamiseen ja bisneksen pyörittämiseen, vaan jättää se niille, jotka sen osaavat.

Pekolan ominta alaa on tällä hetkellä ”nanorakenteiden termodynamiikka”, joka kuulostaa science fictionilta, mutta on vahvasti tieteen tätä päivää. Jo parinkymmenen vuoden ajan termodynamiikassa on eletty eräänlaista renessanssia, sillä pienissä systeemeissä – joihin Pekolan johtaman yksikön tutkimuskin keskittyy – perinteiset termodynamiikan lait toimivat vain keskiarvoina.

– Näiden keskiarvojen ympärillä tapahtuu suuria vaihteluita. Niiden hallitseminen onnistuu kuitenkin fluktuatiorelaatioiksi kutsutuilla yhtälöillä, joista on johdettavissa esimerkiksi vanha tuttu termodynamiikan toinen pääsääntö.

Kärjistetysti voidaan sanoa, että ennen nanorakenteiden keksimistä tutkijat olivat jo oikeassa, mutta eivät vielä tienneet kaikkea. Kun alettiin tutkia hyvin pieniä systeemejä, päästiin makromaailman ilmiöiden ymmärtämisessä paljon aiempaa syvemmälle.

Nanotasolla esimerkiksi lämpötilan mittaaminen on silti paljon mutkikkaampi asia kuin aamuinen lämpömittarin vilkaisu sopivan vaatetuksen valitsemiseksi. Miten se tapahtuu?

– Jos ajatellaan sähköistä piiriä, niin lämpötila on yhtä kuin sen elektronien energijakauma. Silloin tarvitaan menetelmä, jolla tämä jakauma voidaan määrittää. Meidän käyttämämme mittari perustuu tunnelikontaktiin: systeemin läpi johdettu herätevirta kertoo, minkälainen elektronien jakauma on. Ongelmana on tietysti se, miten elektronit vuorovaikuttavat muun maailman kanssa, sillä mikään systeemi ei ole täysin eristyksissä ympäristöstään.

Kvanttifysiikan vaikeuksia on juuri se, että hiukkasten havaitseminen vaikuttaa hiukkasiin itseensä ja niiden käyttäytymiseen. Huippuyksikössä on useita ryhmiä, jotka tekevät sellaisia mittauksia, että niiden vaikutus on otettava tarkoin huomioon.

Yksikön laajasta tutkimuskentästä kertoo se, että osa ryhmistä tutkii ainetta makrotasolla, matalissa lämpötiloissa supranesteeksi muuttuvan helium-3:n muodossa, ja toisten ryhmien kiinnostuksen kohteena ovat heliumkiteet, joilla on kvanttikiteiden ominaisuuksia.

Kun tutkimusta tehdään toisaalta kvanttitasolla ja toisaalta hyvin matalissa lämpötiloissa, monet ilmiöt poikkeavat arkimaailmassa olevista. Vaikka tutkimusta on tehty alalla jo pitkään, vastaan tulee Pekolan mukaan edelleen yllätyksiä.

– Selittämättömiä tuloksia saadaan jatkuvasti. Ja sillä tavallahan tutkimus etenee. Tutkimustulokset ovat aika usein vaikeasti ymmärrettäviä, mutta yhteistyö teoreetikkojen ja kokeilijoiden välillä on meillä hyvin tiivis ja kiperien kysymysten kanssa painiskellaan niin kauan, että niistä saadaan tolkkua.

Matalien lämpötilojen tutkimus on Suomessa huippututkimusta myös muun maailman tasoon verrattuna. Verkottuminen alan muiden huippujen kanssa on helppoa ja tutkijavaihto on kaksisuuntaista: tutkijoita lähtee meiltä muualle, mutta yhtä lailla meillekin on tulijoita. Suomi tunnetaan maailmalla ja yhteistyö on tiivistä.

– Itse en osaisi elää ilman yhteistyötä: yksi plus yksi on tässä mielessä enemmän kuin kaksi. Tieto kumuloituu, mutta se edellyttää tietenkin hyviä kumppaneita. Yksi omista tehtävistäni on tietää, ketkä ovat eri alojen asiantuntijoita ja saada omat opiskelijani vuorovaikuttamaan parhaiden tutkimusryhmien kanssa. Se on tärkeä osa koko tätä toimintaa.

Yksi syy suomalaisen kylmätutkimuksen menestykseen on, että keskitytään siihen, mitä osataan ja mihin rahkeet riittävät.

– Sovellamme edelleen akateemikko Olli Lounasmaan aikoinaan omaksumaa linjaa, että pyritään löytämään sellaisia aloja, joilla on käytettävissä olevilla voimavaroilla mahdollista päästä aivan huipulle.

Kylmäfysiikka eli ultramatalien lämpötilojen tutkimus on ollut ja on edelleen juuri sellainen tieteenala.

Kirjoittaja on tiedetoimittaja ja tietokirjailija.

UUSI TIEDEBAROMETRI

Tieteen tiedotus ry julkisti 12.11.2013 tutkimuksen suomalaisten suhtautumisesta tieteeseen ja tieteellis-tekniseen kehitykseen. Tutkimuksesta, joka julkistettiin viidettä kertaa, ilmenevät mm. kansalaisten kiinnostavimmiksi kokemat tieteenalat, parhaiten tuntemat tutkijat sekä näkemykset tieteen asemasta, merkityksestä ja hyödyllisyydestä.

Tiedebarometrin laatijan, tutkija **Pentti Kiljusen** mukaan tiede nauttii sekä instituutiona että nimettyinä organisaatioina suomalaisten suurta luottamusta. Yliopistoihin ja korkeakouluihin luotetaan lähes yhtä vankasti kuin poliisiin ja puolustusvoimiin. Tieteestä kiinnostuneiden osuus on kasvanut kahdeksan prosenttiyksikköä vuoden 2010 tutkimukseen verrattuna. Myös taloutta, politiikkaa ja yhteiskunnallisia asioita yleensä koskeva kiinnostus on kasvanut edellisestä tutkimuksesta.

Kolme neljästä vastaajasta pitää ympäristö- ja luontoaiheita kiinnostavina. Kakkossijan saavuttavat yhteiskunnalliset asiat yleensä (72 %). Kaksi kolmesta (65 %) ilmoittaa seuraavansa kiinnostuksella tiede-, tutkimus- ja teknologia-aiheita. Kiinnostavimmaksi tieteenalaksi koetaan lääketiede. Barometrin mukaan tieteestä kiinnostuneimman ikäryhmän muodostavat nuorehkot, 26–35-vuotiaat aikuiset. Tutkijoita tunnetaan edelleen huonosti ja hajonta on suuri. Tunnetuin – kyselyssä merkittävä nykyisin toimiva tieteenharjoittaja – on ylivoimaisesti tähtitieteilijä **Esko Valtaoja**.

Väittämäaineisto sisälsi myös tieteen ja kansalaisten suhteeseen yleisellä tasolla liittyviä näkökohtia. Näkemys, jonka mukaan tiede elää liian eristyneenä muusta yhteiskunnasta (”norsunluutorneissaan vailla riittävää kosketusta ihmisen arkeen”) saa lähes joka toisen hyväksynnän. Riittäväksi kosketuksen kokee vajaa neljännes.

Tiedebarometri 2013 -tutkimuksen toteutti Yhdyskuntatutkimus Oy. Kirjalliseen kyselyyn vastasi 971 henkilöä. Tutkimusraportti on Tieteen tiedotus ry:n verkkosivuilla: <http://www.tieteentiedotus.fi/tiedebarometri.html>.

(Ilari Hetemäki)