

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
OTANIEMI

KYLMÄLABORATORION  
TOIMINTAKERTOMUS

1.8.1983–31.7.1984

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
KYLMÄLABORATORIO  
KIRJASTO



# Teknillinen korkeakoulu

## Kylmälaboratorio

### 1.1.1984 - 31.7.1984

Kylmälaboratorio on hallintokollegin alainen tutkimuslaitos, jonka tehtävänä on

- suorittaa tutkimustyötä materiaalin lämpötilojen fysikaalisesta ja kryoenergiasta sekä lämmönsiirto fysiikan ja tekniikan alalla;
- antaa alan koulutusta om. järjestämällä tutkimusohjelmalla sekä ohjauksella opinnäytetöiden tarkoitettuja tutkimustöitä varten;
- edistää alan tutkimuksen ja sovellutuksen kehitystä maassamme tarjonnalla asiantuntija-apua sekä tutkimusmahdollisuuksia;
- ylläpitää sekä kehittää maamme kansainvälisiä yhteyksiä tutkimus-

## TOIMINTAKERTOMUS

1.8.1983 - 31.7.1984

Kylmälaboratorion toimintaa johtaa hallintokollegin asettama johtokunta. 30.9.1983 saakka johtokuntaan kuului:

|                                                    |                   |
|----------------------------------------------------|-------------------|
| rehtori Paul A. Wuori                              | puheenjohtaja     |
| apulaisprofessori Juhani Kurki-Järvi               | varapuheenjohtaja |
| kylmälaboratorion va. johtaja, prof. Matti Krusius |                   |
| tekniikan lehtori Jarmo Penttinen                  |                   |
| (varalla dipl.ins. Risto Ilmonen)                  |                   |
| tekniikan lehtori Markku Lönner                    |                   |
| (varalla dipl.ins. Matti Huikari)                  |                   |
| diplomi-insinööri Mikko Manninen                   |                   |
| (varalla dipl.ins. Jukka Pekola)                   |                   |

1.10.1983 alkaen johtokuntaan kuului:

|                                                  |                   |
|--------------------------------------------------|-------------------|
| rehtori Paul A. Wuori                            | puheenjohtaja     |
| apulaisprofessori Juhani Kurki-Järvi             | varapuheenjohtaja |
| kylmälaboratorion johtaja, prof. Olli Louhevaara |                   |



KYLMÄLABORATORION TOIMINTA 1.8.1983 - 31.7.1984

A s e m a ,   t e h t ä v ä t   j a   h e n k i l l ö k u n t a

Kylmälaboratorio on hallintokollegin alainen tutkimuslaitos, jonka tehtävänä on

- suorittaa tutkimustyötä matalien lämpötilojen fysiikassa ja kryogeniikassa sekä läheisillä fysiikan ja tekniikan aloilla,
- antaa alan koulutusta mm. järjestämällä tutkimusmahdollisuuksia sekä ohjausta opinnäytteiksi tarkoitettuja tutkimustöitä varten,
- edistää alan tutkimuksen ja sovellutusten kehitystä maassamme tarjoamalla asiantuntija-apua sekä tutkimusmahdollisuuksia,
- ylläpitää sekä kehittää maamme kansainvälisiä yhteyksiä toimialueellansa.

Kylmälaboratorion toimintaa johtaa hallintokollegin asettama johtokunta. 30.9.1983 saakka johtokuntaan kuuluivat:

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| rehtori Paul A. Wuori                | puheenjohtaja     |
| apulaisprofessori Juhani Kurkijärvi  | varapuheenjohtaja |
| kylmälaboratorion vs. johtaja, prof. |                   |

Matti Krusius

tekniikan tohtori Auvo Penttinen

(varalla dipl.ins. Risto Ilmonieminen)

tekniikan tohtori Markku Lopenen

(varalla dipl.ins. Matti Huiku)

diplomi-insinööri Mikko Manninen

(varalla dipl.ins. Jukka Pekola)

1.10.1983 alkaen johtokuntaan kuuluivat:

|                                     |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| rehtori Paul A. Wuori               | puheenjohtaja     |
| apulaisprofessori Juhani Kurkijärvi | varapuheenjohtaja |
| kylmälaboratorion johtaja, tutkija- |                   |

prof. Olli Lounasmaa



tekniikan tohtori Auvo Penttinen  
(varalla dipl.ins. Risto Ilmoniemä)  
vanhempi tutkija, prof. Matti Krusius  
(varalla dipl.ins. Juha Simola)  
laboratoriainsinööri Marja Holmström  
(varalla lab.mest. Juhani Kaasinen).

Toimintakertomusvuonna johtokunta on pitänyt 2 kokousta, joissa sihteerinä on toiminut osastosihteerä Kyllikki Jauho.

#### VANHEMPI TUTKIMUSHENKILÖKUNTA

- O.V. Lounasmaa, Ph.D., Suomen Akatemian tutkijaprofessori, laboratorion johtaja (virkavapaa 1.11.1983 saakka ulkomailla työskentelyä varten)
- F.M. Krusius, TkT, prof. laboratorion vs. johtaja 31.10.1983 saakka
- A.I. Ahonen, TkT, dos., tutkija, 9.7.1984 lähtien
- M.P. Berglund, TkT, dos., kryokeskuksen johtaja 1.1.1984 alkaen (virkavapaa 1.1. - 30.6.1984 Jyväskylän suprajohdavan syklotronin suunnitteluprojektiin osallistumista varten)
- P. Brusov, Ph.D., vieraileva tutkija (Rostov-on-Don State University, Neuvostoliitto) 11.10.1983 - 10.7.1984
- H.K. Collan, TkT, dos., laboratoriainsinööri (virkavapaa fosfori-NMR-projektin johtotehtävää varten)
- D. Einzel, Ph.D., vieraileva tutkija (Zentralinstitut für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München) 1. - 31.5.1984
- A.S. Fetter, professori, vieraileva tutkija (Stanford University, Kalifornia) 30.8.1983 saakka
- I.A. Fomin, Ph.D, vieraileva tutkija (L.D. Landau Institute for Theoretical Physics, Academy of Sciences, Moskova) 3.10. - 2.11.1983 ja 11. - 24.6.1984
- E.E. Godik, Ph.D., vieraileva tutkija (Institute of Radioengineering and Electronics, Academy of Sciences, Moskova) 25.1. - 24.2.1984
- T. Haavasoja, TkT, tutkija, 1.9. - 31.12.1983 ja 1.7.1984 lähtien
- R.K. Hari, LKT, dos., Suomen Akatemian nuorempi tutkija



- M-L. Holmström, FL, laboratorioinsinööri  
O.T. Ikkala, TkT, tutkija 19.9.1983 lähtien  
P. Kumar, professori, vieraileva tutkija (University of Florida, Gainesville) 1.3. - 31.7.1984  
G. Mamniashvili, Ph.D., vieraileva tutkija (Institute of Physics, Georgian Academy of Sciences, Tbilisi) 15.4.1984 saakka  
V.P. Mineev, Ph.D., vieraileva tutkija (L.D. Landau Institute for Theoretical Physics, Academy of Sciences, Moskova) 1. - 30.9.1983 ja 11. - 24.6.1984  
Z. Nadirashvili, Ph.D., vieraileva tutkija (Institute for Physics, Georgian Academy of Sciences, Tbilisi) 13.9. - 5.12. 1983 ja 9.1.1984 lähtien  
T. Ohmi, Ph.D., vieraileva tutkija (University of Kyoto, Japani) 18.4.1984 saakka  
R.E. Packard, professori, vieraileva tutkija (University of California, Berkeley) 31.8.1983 saakka  
A.A. Penttinen, TkT, vs. kryokeskuksen johtaja 30.6.1984 saakka, vs. laboratorioinsinööri 1.7.1984 lähtien  
M.M. Salomaa, TkT, dos., Suomen Akatemian vanhempi tutkija  
J.A. Sauls, Ph.D., vieraileva tutkija (Princeton University, New Jersey) 10.5.1984 saakka  
H. Seifert, Ph.D., vieraileva tutkija (Universität Tübingen, L-Saksa) 1.4.1984 lähtien  
J.S. Tsakadze, Ph.D., vieraileva tutkija (Institute for Physics, Georgian Academy of Sciences, Tbilisi) 9.1.1984 lähtien  
G.E. Volovik, Ph.D., vieraileva tutkija (L.D. Landau Institute for Theoretical Physics, Academy of Sciences, Moskova) 14.5. - 12.6.1984

#### JATKO-OPISKELIJAT

- A.S. Antervo 1. - 31.8.1983; 1.1. - 30.6.1984 ja 1.8.1984 lähtien  
R. Fishman (Princeton University, New Jersey) 3.6.1984 saakka  
P.J. Hakonen  
M.T. Huiku



M.S. Hämäläinen  
R.J. Ilmoniemä  
T.A. Jyrkkiö  
E.M. Kaukoranta  
J.E. Knuutila  
J.P. Pekola  
H.K. Reinikainen  
H.K. Seppälä  
J.T. Simola

W-Y. Zhang (Nankingin yliopisto, Kiina) 1.9.1983 - 31.5.1984

#### OPISKELIJAT

E.P. Friman 1.2. - 31.5.1984  
M.V. Kaipainen 1. - 30.6.1984  
I.M. Kajanto 1. - 30.6.1984  
M.J. Kajanto 1. - 30.6.1984  
M.J. Kajola  
J.S. Korhonen 1.6.1984 lähtien  
Y.V. Koskinen 1. - 30.6.1984  
J.M. Kyynäräinen  
H.M. Lauranto 1. - 30.6.1984 ja 23.7.1984 lähtien  
S.A. Nenonen  
K.K. Nummila  
A.S. Oja  
R.H. Salmelin  
J. Salminen 31.5.1984 saakka  
L.J. Simonsen 31.12.1983 saakka  
L.E. Stormbom 31.1.1984 saakka  
P.J. Takaranta 1.5.1984 lähtien  
A.K. Toivo 31.5.1984 saakka

#### MUU HENKILÖKUNTA

H.R. Ennari, toimistos sihteeri  
A.J. Huvila, laboratoriomestari  
A.A. Isomäki, nesteyttimen käyttöpäällikkö  
L.K. Jauho, osastosihteeri  
R.J. Kaasinen, laboratoriomestari



J.T. Koponen, piirtäjä

M.T. Korhonen, laboratoriomekaanikko

E.S. Pelkonen, tutkimusapulainen 14.2.1984 saakka

K.A. Salminen, mekaanikko

#### AKATEEMISET TUTKINNOT

Toimintakertomusvuonna ovat laboratoriossa työskennelleet henkilöt suorittaneet seuraavat tutkinnot:

##### Diplomi-insinööri

HÄMÄLÄINEN, M.S., Virtajakautuman estimointi mitatusta magneettikentästä

JYRKKIÖ, T.A., Selvitys neutronidiffraktion soveltuvuudesta ydinantiferromagneettisen tilan tutkimiseen

KNUUTILA, J.E., Testimittauksia ja kytkentäkokeiluja ohutkalvo-SQUIDilla

SEPPÄLÄ, H.K., Ydinmagneettisia resonanssikokeita ja laskuja pyörivän  $^3\text{He}$ :n A-faasin tekstuureista

##### ASIAANTUNTIJATEHTÄVÄT

LOUNASMAA toimi opetusministeriön asettaman Perustutkimustyöryhmä II:n puheenjohtajana. Työryhmä jätti muistionsa 15.6.1984. Hän toimi niinikään opetusministeriön 9.4.1984 asettaman korkeakoulujen toiminnan arviointimenetelmien kehittämistyöryhmän jäsenenä.

SALOMAA toimi Mogens Høgh-Jensenin vastaväittäjänä Kööpenhaminan yliopistossa 29.6.1984.



## Tutkimustoiminta

### Yleistä

Kylmälaboratoriossa on lähes 20 vuoden ajan tutkittu ultramatalien lämpötilojen fysiikkaa ja tekniikkaa. Määrätietoinen työskentely on nostanut laboratorion alan kansainväliseen eturiviin. Karlsruhessa elokuussa 1984 pidetyssä 17. Kansainvälisessä matalien lämpötilojen fysiikan konferenssissa prof. Lounasmaa vastaanotti arvostetun Fritz London -palkinnon. Samassa kokouksessa prof. Krusius piti yleisesitelmän NMR-mittauksista suprajuoksevassa  $^3\text{He}$ :ssa ja DI Huiku kutsutun esitelmän kuparin ydinjärjestymiseen liittyvistä tutkimuksista. Euroopan Fysikkoseuran 6. yleiskokouksessa Prahassa elokuussa 1984 prof. Krusius piti yleisesitelmän suprajuoksevasta  $^3\text{He}$ :sta pyörimisliikkeessä. Kylmälaboratorion tähänastisesta toiminnasta saa hyvän kuvan heinäkuussa 1984 ilmestyneestä esitteestä "Low Temperature Laboratory".

Teknillisen korkeakoulun ohella Suomen Akatemialla on ollut ratkaiseva osuus kylmälaboratorion kehittämisessä, erityisesti vuodesta 1970 alkaen. Laboratorion budjetti jakautuu vastaisuudessaakin Teknillisen korkeakoulun ja Suomen Akatemian kesken. Soveltavat tutkimukset on rahoitettu projektikohtaisesti esim. kauppa- ja teollisuusministeriön, SITRAn ja teollisuuden yhteisvoimin. Laboratoriosta on sen toiminta-aikana valmistunut 24 tekniikan tai filosofian tohtoria.

Ultramatalien lämpötilojen fysiikka sopii erikoisen hyvin Suomen kaltaiselle pienelle, mutta suhteellisen rikkaalle maalle. Alä on yksi modernin fysiikan kiintoisimmista ja sen sovellutukset ovat voimakkaassa nousussa. Sangen vaatimattomin investoinnein voidaan rakentaa kryostaatti, joka tarjoaa ainutlaatuisia tutkimusmahdollisuuksia. Ultramatalien lämpötilojen fysiikan kehitys ja saavutukset eivät täten ole riippuvaisia huippukalliista laiteinvestoinneista, jotka monilla muilla fysiikan aloilla ovat edellytyksenä tutkimuksen kansainväliseen kärkeen pyrittäessä.



Kylmälaboratorion perustutkimus on keskittynyt ultramatalissa lämpötiloissa tehtävään kokeelliseen ja teoreettiseen tieteil- liseen työhön sekä ihmisaivojen synnyttämien heikkojen magneet- tikenttien mittaamiseen. Adiabaattiseen ydindemagnetointiin pe- rustuvaa jäähdytysmenetelmää on laboratoriossa kehitetty pidem- mälle kuin missään muualla. Kaksivaiheisella ydindemagnetointi- jäähdytyksellä kupariytimien muodostama spinsysteemi on jäähdy- tetty nanokelvinalueelle, jolloin on pystytty toteamaan ydin- magneettisten momenttien järjestäytyminen antiferromagneetti- seen tilaan 60 nK:n lämpötilassa. Nämä mittaukset edustavat ma- talimpia mitattuja lämpötiloja; saavuttamamme kylmyyden maail- manennätys on nyt 30 nK. Lähiajan tavoitteena on ryhtyä selvit- tämään kuparin järjestäytyneiden faasien magneettista rakennet- ta neutronidiffraktiomenetelmällä yhteistyössä Tanskassa si- jaitsevan Risön laboratorion kanssa.

Kylmälaboratorion viime vuosien huomattavin laiterakennustyö on ollut ydindemagnetointikryostaatti, jota käytetään pyörivän  $^3\text{He}$ -supranesteen tutkimukseen alle 1 mK:n lämpötiloissa. Mer- kittäviä tuloksia on saavutettu pyörimisliikkeessä syntyvien kvantittuneiden pyörteiden eli vorteksien kokeellisessa tutki- muksessa. Projekti on Suomen Akatemian ja Neuvostoliiton tiede- akatemian välinen yhteistyöhanke, johon kylmälaboratorion li- säksi osallistuvat Gruusian tiedeakatemian fysiikan instituutti Tbilisistä sekä Fysikaalisten ongelmien ja Landaun teoreettisen fysiikan instituutit Moskovasta. Suurin osa nykyisestä tietä- myksestä  $^3\text{He}$ -supranesteiden kvantittuneista virtauspyörteistä on syntynyt tämän yhteistyön tuloksena.

Kylmälaboratorion soveltavat tutkimusprojektit ovat ajallisesti ja tavoitteellisesti olleet selvästi rajattuja. Yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun sähkömekaniikan laboratorion, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen sekä Oy Strömberg Ab:n kanssa on rakennettu 50 kW:n suprajohtava moottori. Erilaisia mineraali- tekniikan ja kemian prosessitekniikan sovellutuksia varten on tutkittu suprajohtavin magneetein tehtävää suurgradienttiero- tusta, jossa hienoksi jakautunut magneettinen aine erotetaan ei-magneettisesta taustamateriaalista. Yhteistyössä Instrumen- tarium Oy:n ja VTT:n kanssa on kehitetty sairaaloiden diagnos-



tiseksi tutkimuslaitteeksi soveltuva protonien ydinmagneettiseen resonanssiin perustuva kuvauslaite, joka on ollut jo yli kahden vuoden ajan Helsingin yliopistollisessa keskussairaalas-  
sa kliinisessä käytössä. Vuosi sitten aloitettiin 1,5 teslan magneettikentän synnyttävän suprajohtavan solenoidin rakennus-  
työ. Hanketta rahoittavat SITRA, Suomen Akatemia ja Instrumen-  
tarium Oy. Päämääränä on rakentaa diagnostinen tutkimuslai-  
te, jolla ydinmagneettisen resonanssin kemiallisten siirtymien  
avulla saadaan määrätyksi fosforia sisältävien yhdisteiden suh-  
teellisia osuuksia ihmisruumiin eri elimissä.

Yhdessä Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen kojetekniikan la-  
boratorion kanssa on suunniteltu ja rakennettu yksi maailman  
parhaimmista magneettisesti suojatuista huoneista. Huone vai-  
mentaa magneettista taustakohinaa mahdollistaen herkäät mittauk-  
set. Kylmälaboratoriossa onkin kolmen viime vuoden ajan tutkit-  
tu ihmisaivojen synnyttämiä heikkoja magneettisia signaaleja  
SQUID-antureita käyttämällä. AIVO-projekti on vasta alkutaipa-  
leellaan, mutta tutkimus on jo päässyt kansainvälisesti hyvään  
asemaan. Kun rakenteilla oleva 30-kanavainen mittaustilaiteisto  
vuoden 1986 alkupuolella valmistuu, neuromagnetismin tutkimus-  
mahdollisuudet kylmälaboratoriossa lisääntyvät oleellisesti.  
Aivomagneettisilla mittauksilla tullee olemaan lääketieteelli-  
siä sovellutuksia, minkä ohella tulosten merkitys aivojen in-  
formaatioprosessoinnin selvitystyössä saattaa olla tärkeä.

#### PERUSTUTKIMUS

##### Atomiytimien väliset ko-operatiiviset ilmiöt (YKI-projekti)

M.T. Huiku, T.A. Jyrkkiö, Y.V. Koskinen, J.M. Kyynäräinen,  
O.V. Lounasmaa, A.S. Oja

Kertomusvuonna jatkettiin kupariydinten antiferromagneettisen  
tilan tutkimusta.

Syksyllä 1983 selvitettiin perusteellisesti neutronidiffraktio-  
menetelmän sopivuutta kuparin järjestyneiden tilojen tutkimi-  
seen. Laskelmat osoittivat, että neutronidiffraktiota voidaan



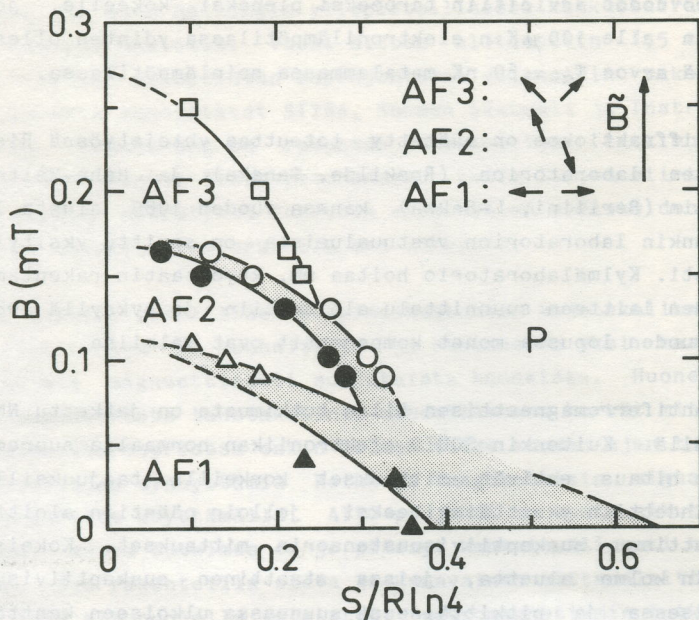
käyttää ja että intensiteetti-arviot antiferromagneettiselle si-  
ronnalle ovat riittävän suuret ja helposti havaittavissa. Sa-  
moin lämpövuodot arvioitiin tarpeeksi pieneksi kokeelle, joka  
tehtäisiin alle  $100\ \mu\text{K}$ :n elektronilämpötilassa ydinten ollessa  
kriittistä arvoa  $T_C = 60\ \text{nK}$  matalammassa spinlämpötilassa.

Neutronidiffraktiokoe on päätetty toteuttaa yhteistyössä Risön  
kansallisen laboratorion (Roskilde, Tanska) ja Hahn-Meitner  
instituutin (Berliini, L-Saksa) kanssa vuoden 1985 alusta lu-  
kien. Kunkin laboratorion vastuualueista on sovittu yksityis-  
kohtaisesti. Kylälaboratorio hoitaa mm. kryostaatin rakentami-  
sen. Uuden laitteen suunnittelu aloitettiin jo syksyllä 1983.  
Kertomusvuoden lopussa monet komponentit ovat valmiina.

Kuparin antiferromagneettisen tilan tutkimusta on jatkettu NMR-  
menetelmällä. Kuitenkin SQUID elektroniikan normaalia suurempi  
kohina ja hitaus estivät mittaukset korkeilla taajuuksilla.  
Näyte vaihdettiin yksittäiskiteeksi, jolloin päästiin aloitta-  
maan staattisen susceptiivisuustensorin mittaukset. Kokeissa  
havaittiin kolme aluetta, joissa staattinen susceptiivisuus  
poikittaisessa ja pitkittäisessä suunnassa ulkoiseen kenttään  
nähdessä oli kussakin erilainen. Tämä osoittaa, että kuparin yti-  
met järjestyvät antiferromagneettisesti kolmella eri tavalla  
riippuen ulkoisen kentän voimakkuudesta. Kriittinen kenttä an-  
tiferromagneettiselle transitiolle on  $0.27\ \text{mT}$ . Käyttämällä sus-  
ceptiivisuudelle yksinkertaista 2-alihilamallia voitiin päätel-  
lä, miten järjestyneiden spinien suunta muuttuu siirryttäessä  
faasista toiseen.

Tutkimalla susceptiivisuuksia entropian funktiona eri magneet-  
tikentissä mitattiin järjestyneille tiloille entropia-kenttä-  
faasidiagrammi, joka on esitetty oheisessa kuvassa. Oikeassa  
yläkulmassa näkyy yllämainitulla tavalla saatu järjestäytynei-  
den tilojen rakenne. Koska toisena muuttujana on entropia  $S$ ,  
ensimmäisen kertaluvun olomuodonmuutokset näkyvät leveinä voi-  
nä.





Kuparin magneettikenttä-entropia ( $B$ - $S$ ) faasidiagrammi nanokelvinlämpötiloissa. Varjostetuilla alueilla tapahtuu 1. kertaluvun faasitransformaatio.

Tällaisen transition aikana eri faasit ovat tasapainossa keskenään vakio­lämpötilassa. Nollakentässä kriittinen lämpötila transitiolle AF1-tilasta paramagneettiseen P-faasiin on 60 nK.



$^3\text{He}$ -supranesteiden kvantittuneet virtauspyörteet (ROTA-projekti)

P.J. Hakonen, J.S. Korhonen, F.M. Krusius, O.V. Lounasmaa, G. Mamniashevili, Z. Nadirashvili, K.K. Nummala, R.E. Packard, J.P. Pekola, J.T. Simola, J.S. Tsakadze

Suprajuoksevien  $^3\text{He}$ -nesteiden tutkimus kylmälaboratoriossa on muutaman viime vuoden kuluessa kasvavassa määrin keskittynyt kvantittuneiden virtauspyörteiden eli vorteksien ominaisuuksien selvittämiseen. Vuonna 1981 laboratoriossa valmistunut pyörivä jäähdytyslaitteisto on edelleenkin ainutlaatuinen maailmassa: laitteella voidaan  $^3\text{He}$ -näyte jäähdyttää alle 0.5 mK:n lämpötilaan maksimipyöritysnopeuden samalla ollessa n. 20 kierr./min. ROTA-kryostaatilla on tehty laaja ydinmagneettisten resonanssimittausten sarja, joka saatiin päätökseen heinäkuussa 1984. Näissä kokeissa on selvitetty vapaassa nestetilassa syntyvien virtauspyörteiden rakennetta. Kuluneen toimintavuoden aikana on lisäksi mitattu gyroskoopilla hyrräliikkeen periaatetta soveltaen renkaanmuotoiseen virtauskanavaan pyöritysliikkeellä synnytetyn supravirtauksen pysyvyyttä. Tällä menetelmällä voidaan tutkia myös supravirtauksen loukkuuntumista sekä kriittistä virtausnopeutta. Lisäksi osoittautui, että mittaus soveltui eri tyyppisten vorteksirakenteiden havaitsemiseen.

Kvantittuneet vorteksit ovat ulkoisen häiriökentän tai pyörityksen synnyttämiä suprasysteemin makroskooppisia defektejä. Aikaisemmin näitä on tutkittu  $^4\text{He}$ -supranesteessä, missä vorteksit ovat viivamaisia ja singulaarisia, ts. ne muodostuvat lineaarisesta rotaatioakselin suuntaisesta ytimestä ja ydintä kiertävästä supravirtauksesta. Vorteksin ytimessä neste on normaalitilassa: Suprajuoksevaa tilaa kuvaa tässä yhteydessä skaalarinen järjestysparametri, joka voidaan yksinkertaisesti tulkita systeemin kvanttimekaaniseksi aaltofunktioksi. Vorteksin ydin on tämän makroskooppisen aaltofunktion nollakohta, joka voidaan suoraan kokeellisesti havaita. Kvantittuneet vuoviivat toisen luokan suprajohteissa ovat rakenteeltaan samankaltaiset  $^4\text{He}$ -supranesteen vorteksien kanssa.

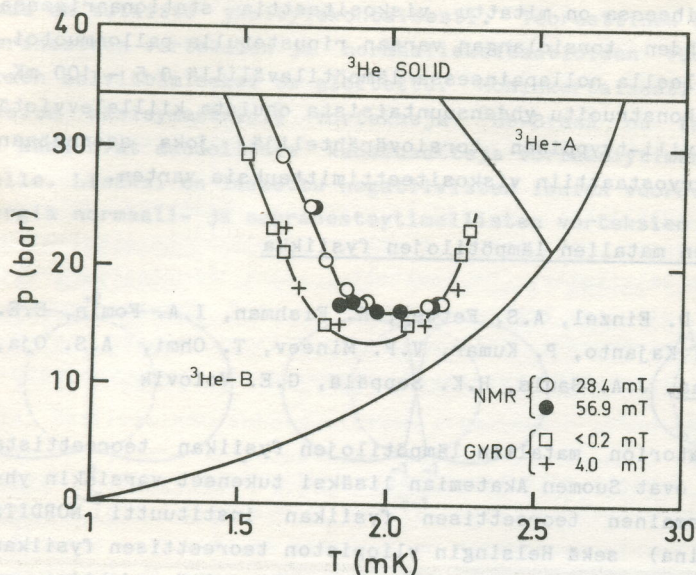


$^3\text{He}$ -supranesteissä tilanne on monimutkaisempi, sillä järjestysparametri on tensorisuure, jolla on sekä suuruus että suunta. Orientaation paikallisesta vaihtelusta nesteessä syntyy tekstuuri, jolla on samanlaisia topologisia ominaisuuksia kuin nestekiteiden tekstuureilla. Monimutkaisemman rakenteen ja anisotropian ansiosta  $^3\text{He}$ -supranesteissä esiintyy uudentyyppisiä vortekseja, joiden rakenne eli järjestysparametrin jakauma vorteksin ytimessä on ollut toistaiseksi tärkein tutkimuskohde.

$^3\text{He}$ -supranesteen A-faasissa on vorteksien todettu muodostavan jatkuvia tekstuureja, joissa ei ole singulaarista ydintä. Ne ovat ainutlaatuisia esimerkkejä kvantittuneista vortekseista voimakkaasti anisotrooppisissa suprasysteemeissä. Gyroskooppi-mittauksissa ei havaittu pysyvää supravirtausta A-faasissa.

$^3\text{He}$ -supranesteen B-faasissa vorteksit muistuttavat rakenteeltaan  $^4\text{He}$ -supranesteen singulaarisia vortekseja, joskaan vorteksin ytimessä supratilan järjestysparametri ei häviä vaan sen luonne muuttuu. B-faasin vortekseilla on ainakin kaksi erikennettä, joita erottaa toisistaan ensimmäisen kertaluvun faasitransitio (kts. oheista kuvaa). Matalissa paineissa ja lämpötiloissa vorteksilla on spontaanisti magnetoitunut ydin. Tämän ainutlaatuisen vorteksin ytimen rakenne on pystytty laskemaan teoreettisesti (kts. teoreettinen  $^3\text{He}$ -supranesteiden tutkimus). Sensijaan korkeissa paineissa ja lämpötiloissa esiintyvän vorteksin rakennetta ei ole vielä onnistuttu selvittämään. B-faasissa supravirtaus osoittautui gyroskooppi-mittauksissa häviötömäksi ja eri vorteksityyppeihin liittyvät kriittiset virtausnopeudet selvästi toisistaan poikkeaviksi.





Pyörimisliikkeessä olevan suprajuoksevan  $^3\text{He}$ :n faasidiagrammi. Vorteksien ytimessä tapahtuvaa transitiota kuvaavat käyrät on piirretty NMR- ja gyroskooppikokeissa saatujen mittaustulosten perusteella.

### $^3\text{He}$ -supranesteet (HELY-projekti)

M.V. Kaipiainen, F.M. Krusius, Z. Nadirashvili, S.A. Nenonen, R.H. Salmelin, A.K. Toivo, J.S. Tsakadze, W-Y. Zhang

Laitteistoa on kertomusvuoden aikana käytetty pääasiassa ROTA-kryostaatilla tehtävien kokeiden valmisteluun ja testaukseen. Sillä on tutkittu matalataajuuksien viskosimetrien käyttöä. Laitteiston uusiminen pyöriväksi on jo aloitettu.

Supranesteeseen upotettavat torsiovärähtelijät ovat nesteen sisäisiä viskosimetrejä, joilla voidaan mitata nesteen hydrodynaamisia ominaisuuksia. Pyörivässä tilassa mittaukset antavat



tietoa mm. kvantittuneiden virtauspyörteiden ja supranesteen välisestä sisäisestä kitkasta, vorteksien ankkuroitumisesta kiinteisiin pintoihin ja vorteksihilan eksitaatioista. Ensimmäisessä vaiheessa on mitattu viskositeettia stationaarisessa tilassa kahden torsiolangan varaan ripustetulla pallonmuotoisella kappaleella nollapaineessa lämpötilavälillä 0.5 - 100 mK. Lisäksi on konstruoitu yhdensuuntaisista ohuista kiillelevyistä Andronikashvili-tyyppinen torsiovärähtelijä, joka asennetaan pyörivään kryostaattiin viskositeettimittauksia varten.

### Teoreettinen matalien lämpötilojen fysiikka

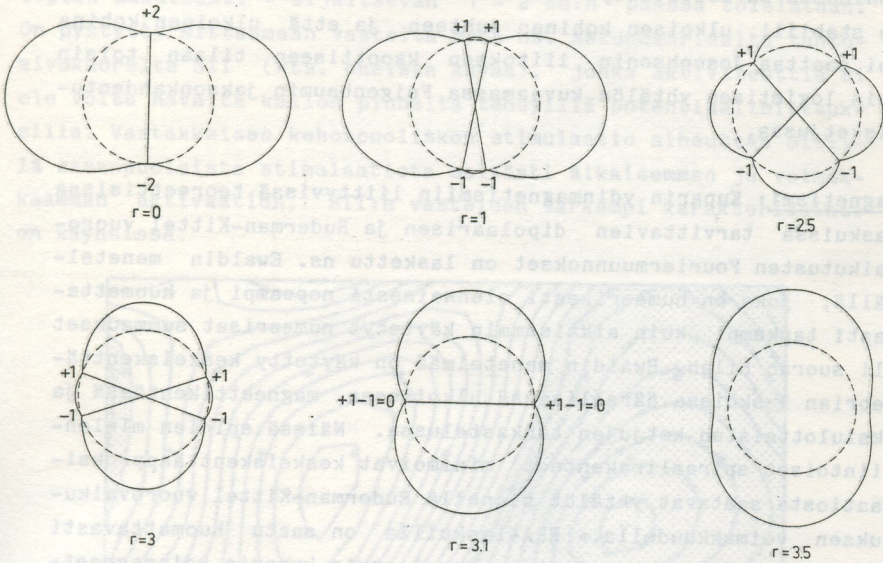
P. Brusov, D. Einzel, A.S. Fetter, R. Fishman, I.A. Fomin, E.E. Godik, M.J. Kajanto, P. Kumar, V.P. Mineev, T. Ohmi, A.S. Oja, M.M. Salomaa, J.A. Sauls, H.K. Seppälä, G.E. Volovik

Kylmälaboratorion matalien lämpötilojen fysiikan teoreettista tutkimusta ovat Suomen Akatemian lisäksi tukeneet varsinkin yhteispohjoismainen teoreettisen fysiikan instituutti NORDITA (Kööpenhamina) sekä Helsingin yliopiston teoreettisen fysiikan tutkimuslaitos (TFT). Merkittävimpanä yhteistyöprojektina on jatkunut pyörivän  $^3\text{He}$ -supranesteen intensiivinen tutkiminen L.D. Landaun teoreettisen fysiikan laitoksen (Moskova) tiedemiesten kanssa.

Pyörivä  $^3\text{He}$ -B supraneste: Kvantittuneiden vorteksiviivojen yleisiä symmetrioita on tutkittu teoreettisesti ja niiden mahdollisia rakenteita on laskettu, toistaiseksi Ginzburg - Landau alueella. On osoitettu, että kerran kvantittuneella vorteksiviivalla voi olla  $^3\text{He}$ -B:ssä viisi sisäiseltä symmetrialtaan erilaista aksisymmetristä tilaa. Näistä eri vaihtoehdoista on identifioitu ROTA-ryhmän NMR-kokeissa havaittu, matalissa paineissa ja lämpötiloissa esiintyvä vorteksiviiva. Tilalla on ainutlaatuinen, uudenlainen rakenne: vorteksilla on supranesteydin, joka sisältää ferromagneettista ns.  $\beta$ -supranestettä sekä lisäksi  $^3\text{He}$ -A supranestettä vorteksin akselilla. Ferromagneettisen supranesteen nukleoituminen vorteksin ytimessä selittää kokeissa gyromagneettisen ilmiön kautta havaitun spontaanin magnetoituman.



Supranesteytimellisen  $^3\text{He-B}$  vorteksin (kts. oheinen kuva) ominaisuuksia, kuten vapaan energian tiheyden, supranestetiheyden, supra virtauksen ja vorteksin magnetoituman radiaalista jakautumaa on tutkittu yksityiskohtaisesti. Teoreettinen työ  $^3\text{He-B}$  supranesteen vorteksin ja normaaliyksitaatioiden vuorovaikutuksen selvittämiseksi on aloitettu. Moninkertaisesti kvantituneita aksisymmetrisiä vortekseja  $^3\text{He-B:ssä}$  on tarkasteltu. Nämä ovat mahdollisia kandidaatteja vorteksiytimen transiitolle. Lisäksi on laskettu negatiivisten ionien vuorovaikutusenergia normaali- ja supranesteytimellisten vorteksin kanssa.



$^3\text{He-B:n}$  vorteksin energia-aukko etäisyyden  $r$  funktiona; kuva havainnollistaa sirkulaation siirtymistä  $r$ -avaruudesta impulsiavaruuteen. Ytimessä ( $r = 0$ ) sijaitsee pari kaksinkertaisen varauksen omaavaa vorteksiä Fermipinnan navoilla. Kun  $r > 0$ , nämä jakaantuvat kahdeksi pariksi, joiden varaus on  $\pm 1$ . Etäisyyden edelleen kasvaessa nollakohdat siirtyvät Fermipinnan "päiväntasaajatasolle" ja annihiloituvat, kun  $r = 3,1$ . Kauempana ytimestä ( $r = 3,5$ ) energia-aukko on edelleen epäisotrooppinen, joskaan nollakohtia ei enää esiinny.



Pyörivä  $^3\text{He}$ -A supraneste: ROTA-mittauksissa havaitun, vortekseihin liittyvän NMR-satelliittipiikin on osoitettu olevan kaksinkertaisesti kvantittuneiden jatkuvien vorteksien aiheuttama; jatkuville  $^3\text{He}$ -A:n vortekseille on myös laadittu yleistetty symmetrialuokittelu. Vorteksihilan rakenteen mahdollisia muutoksia pyörivässä  $^3\text{He}$ -A:ssa on tarkasteltu. Yleistä vorteksiviivojen diskreettien symmetrioiden luokittelua on sovellettu aksisymmetrisille vorteksiviivoille  $^3\text{He}$ -A supranesteessä.

Kaoottinen dynamiikka: Ulkoisella virralla ohjatussa Josephsonin liitoksessa esiintyvän kaaoksen riippuvuutta ulkoisesta kohinasta on selvitetty. On osoitettu, että ympyräpaluukartta on stabiili ulkoisen kohinan suhteen ja että ulkoinen kohina voi saattaa Josephsonin liitoksen kaoottiseen tilaan toisin kuin logistisen yhtälön kuvaamassa Feigenbaumin jaksonkahdentumisketjussa.

Magnetismi: Kuparin ydinmagnetismin liittyvissä teoreettisissa laskuissa tarvittavien dipolaarisen ja Ruderman-Kittel vuorovaikutusten Fouriermuunnokset on laskettu ns. Ewaldin menetelmällä, joka on numeerisesti olennaisesti nopeampi ja huomattavasti tarkempi kuin aikaisemmin käytetyt numeeriset summaukset yli suoran hilan. Ewaldin menetelmää on käytetty keskeiskenttäteorian laskuissa äärellisessä ulkoisessa magneettikentässä ja yksiulotteisten ketjujen tarkastelussa. Näissä spinien mielenkiintoiset spiraalirakenteet minimoivat keskeiskenttäapproksimaatiosta saatavat yhtälöt pienellä Ruderman-Kittel vuorovaikutuksen voimakkuudella. RPA-laskuilla on saatu huomattavasti keskeiskenttäteorian tulosta parempi arvio kuparin ydinmagneettisen järjestymisen kriittiselle lämpötilalle.

#### Aivojen synnyttämät magneettikentät (AIVO-projekti)

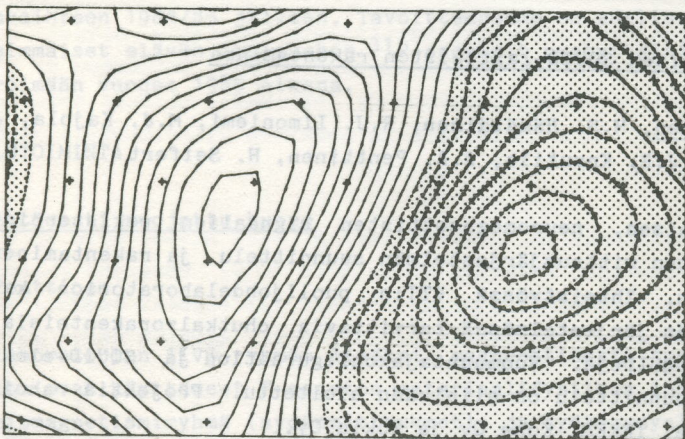
A.S. Antervo, R.K. Hari, M.S. Hämäläinen, R.J. Ilmoniemi, E.M. Kaukoranta, H.M. Lauranto, H.K. Reinikainen, J. Salminen ja L.J. Simonsen

Tarkoituksena on ollut selvittää neuromagneettisten rekisteröintien mahdollisuuksia ja rajoituksia noninvasiivisena ihmis-



aivojen tutkimusmenetelmänä. Lähinnä on mitattu aistiärsykkeiden synnyttämiä aivojen magneettikentän muutoksia laboratorioissa rakennetulla 4-kanavaisella SQUID-magnetometrillä.

Tuntovasteet: Ääreishervoja stimuloimalla on paikallistettu tuntoaärsykkeiden aiheuttamia hermotoiminnan prosessointiin osallistuvia aivokuorialueita. Tuntoärsyke synnyttää odotetusti suurimmat vasteet kontralateraalisen aivopuoliskon primaarilla tuntoaivokuorella. Magnetoenkefalografian hyvää paikkaresoluutiota kuvaa tulos, jonka mukaan peukalon ja pikkusormen stimulaation aktivoimat aivoalueet osoittautuivat - tunnetun somatopian mukaisesti - sijaitsevan 1 - 2 cm:n päässä toisistaan. On pystytty mittaamaan vasteita myös ns. sekundaariselta tuntoaivokuorelta SII (kts. oheista kuvaa), jonka aktiviteettia ei ole voitu havaita kallon pinnalta tehdyillä potentiaalityönteillä. Vastakkaisen kehonpuoliskon stimulaatio aiheuttaa SII:lla samanpuoleista stimulaatiota selvästi aikaisemman ja voimakkaamman aktivaation. SII:n vasteiden tarkempi karakterisointi on käynnissä.



Vasemman hemisfäärin sekundaarisen tuntoaivokuoren SII seudulta mitattu magneettisten herätevasteiden kenttäjakauma 140 ms oikean jalan peroneus-hermon sähköisen ärsytyksen jälkeen. Valkoisella alueella kenttä on suuntautunut kallosta ulospäin, varjostetulla alueella sisäänpäin. "Korkeuskäyrien" välinen kenttäero on 30 femtoteslaa.



Kipuvasteet: Hampaan sähköärsytyksen todettiin synnyttävän selviä neuromagneettisia herätevasteita, joiden jakautuman perusteella voitiin todeta aivokuoren aktivoituneen frontaalisen operculumin seudussa. Tämä alue lienee hammasytimen kortikaalinen representaatioalue ihmisellä.

Kuulovasteet: Yhteistyössä Helsingin yliopiston psykologian laitoksen kanssa on tutkittu ns. mismatch-negatiivisuuden magneettista vastinetta. Kyseinen herätepotentiaalimuutos syntyy standardiärsykkeiden joukossa harvoin esitettyihin "poikkeaviin" ärsykkeisiin. Kokeessamme standardiärsykkeet olivat 1000 Hz:n katkoääniä ja poikkeavien ärsykkeiden taajuus oli 1030 Hz. Kenttäkartoitusten perusteella poikkeava ärsyke synnyttää huomattavan lisääntymisen primaarilla kuuloaivokuorella.

Biomagnetismin käännteistä ongelmaa on tarkasteltu teoreettisesti laskelmin ja simulaatioin. Tämä tutkimusohjelma laajenee vastaisuudessa huomattavasti.

## SOVELTAVA TUTKIMUS

### 30-kanavaisen SQUID-laitteiston rakentaminen

A.I. Ahonen, M.S. Hämäläinen, R.J. Ilmoniemi, M.J. Kajola, J.M. Kajanto, J.E. Knuutila, A.A. Penttinen, H. Seifert

30-kanavaisen, neuromagneettisten signaalien rekisteröintiin tarkoitetun mittausjärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen on aloitettu. Yhteistyössä VTT:n puolijohdelaboratorion kanssa kehitetään järjestelmässä tarvittavia ohutkalvorakenteisia taavirta-SQUIDejä. Vuomuuntajakonfiguraation ja SQUID-elektroniikan suunnittelu on niinkään aloitettu. Projektia rahoittavat SITRA, TEKES, Kone Oy ja Nokia Oy.



## Fosfori-NMR

H.K. Collan, T. Haavasoja, O.T. Ikkala, H.K. Seppälä, E.P. Fri-  
man, L.E. Stormbom, P.J. Takaranta

SITRAn, Suomen Akatemian ja Instrumentarium Oy:n yhteisesti ra-  
hoittamaa hanketta on jatkettu; tavoitteena on fosforin ydin-  
magneettista resonanssispektriä mittaavan lääketieteellisen  
tutkimuslaitteen rakentaminen. Projektin keskeinen komponent-  
ti on suuritilavuuksinen, voimakkaan ja homogeenisen kentän  
( $\phi = 0.8$  m,  $B = 1,6$  T,  $\Delta B/B = 10^{-7}$ ) kehittävä suprajohtava so-  
lenoidi.

Magneetin pääkäämin, mutkikkaan korjauskäämistön ja kryostaatin  
perussuunnittelut on tehty. Samoin magneetin ja kryostaatin  
suurimmat yksittäiset komponentit on saatu kotimaisilta ali-  
hankkijoilta. Vielä puuttuvat mekaaniset osat teetetään kylmä-  
laboratorion työpajassa. Pääkäämiin tulevan, kotimaassa valmis-  
tettavan NbTi/Cu- komposiittisuprajohtimen toimitus on viiväs-  
tynyt, joten päämagneetin käämintä päästään aloittamaan vasta  
vuodenvaihteen 1984/85 jälkeen. Tavoitteenamme on edelleen, et-  
tä ensimmäiset elävän ihmiskehon  $^{31}\text{P}$ -spektrit pystyttäisiin re-  
kisteröimään vuoden 1985 aikana.

## PALVELUTOIMINTA

### Magneettisesti suojattu huone

A.A. Penttinen

Kylmälaboratorion AIVO-ryhmän lisäksi magneettisesti suojattua  
huonetta ovat käyttäneet F-osaston materiaalifysiikan laborato-  
rion biomagnetismiryhmä (sydänmittaukset) ja työterveyslaitok-  
sen tutkijat (rottien keuhkokontaminaatiomittaukset).



### Kryokeskus

A.A. Isomäki, A.A. Penttinen, K.A. Salminen

Kryokeskus on nesteyttänyt heliumia ja ilmaa kylmälaboratoriolle ja korkeakoulun muille osastoille sekä korkeakoulun ulkopuolisille käyttäjille. Toimitukset on pystytty hoitamaan aikataulun mukaan, sillä mitään suurempia korjauksia ei ole tarvinnut tehdä. Heliumnesteytintä on ajettu täydellä kapasiteetilla ja välttämättömät puhdistuskatkot on rajoitettu minimiin lämmittämällä kone nopeasti tyhjötilaan päästetyllä kaasulla.

### Heliumin käyttö nestelitroina:

| Kylmä-<br>lab. | F-os. | S-os. | HYKS  | Outo-<br>kumpu | Instru-<br>mentarium | Muut | Yht.   |
|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------------|------|--------|
| 18 800         | 450   | 1800  | 3000  | 3500           | 1100                 | 700  | 29 350 |
| 64,1%          | 1,5%  | 6,1%  | 10,2% | 11,9%          | 3,8%                 | 2,4% | 100%   |

Korkeakoulun ulkopuolisista käyttäjistä suurimpia olivat Helsingin yliopistollinen keskussairaala (HYKS), Outokumpu Oy (Pörrin tehtaat) ja Instrumentarium Oy (Palomex). Lisäksi toimitettiin nesteheliumia Helsingin ja Joensuun yliopistoille ja Medica-yhtiöille.

Heliumin siirtohäviöt nesteyttimellä ovat olleet noin 30 % ja kylmälaboration sisäinen hukka noin 20 %. Osasyynä kaasuhävikkeihin olivat keräilyjärjestelmässä esiintyneet vuodot. Nämä olivat kuitenkin lyhytaikaisia (1-2 vrk) eivätkä yksin selitä koko hukkaa.

Nestemäistä ilmaa tuotettiin noin 20 000 litraa, josta kylmälaboration ulkopuolisille noin 1500 litraa.



# Monisäikeisten suprajohtimien kryogeeninen testaus

H.A. Ahola

Outokumpu Oy:n Porin tehtailla valmistetaan monisäikeisiä NbTi-suprajohtimia koti- ja ulkomaisille käyttäjille. Tuotekehityksessä ja laadunvalvonnassa on tärkeätä selvittää lankojen sähköiset ja magneettiset ominaisuudet, ennen kaikkea ns. kriittinen virrantiheys käyttölämpötilassa 4.2 K. Testauksessa tarvittavaa nestemäistä heliumia ei yleensä ole Porin tehtailla saatavana, ja tämän vuoksi laitteisto on sijoitettu Otaniemeen kylmälaboratorion tiloihin.

Kuluneen vuoden aikana on testauksesta ja siihen liittyvästä laitekehityksestä vastannut H. Ahola Outokumpu Oy:n palkkaamana. Kylmälaboratorio on toimittanut nesteheliumin ja nesteilman sekä vuokrannut tarvittavat tilat ja osan mittauslaitteistosta.



Yhteistyö muiden laboratorioden  
kanssa

LYHYTAIKAiset ULKOMAiset VIERAILIJAT

- Mr. O. Avenel (Commissariat à l'Energie Atomique, Pariisi)  
Prof. J. Beatty (University of California, Los Angeles)  
Dr. K. Bedell (State University of New York, Stony Brook)  
Dr. K. Clausen (Risø National Laboratory, Roskilde)  
Dr. V. Goldman (University of Amsterdam)  
Dr. A. Grohman (Institute for Low Temperature and Structure  
Research, Polish Academy of Sciences, Wroclaw)  
Prof. W. Heinz (Institut für Experimentelle Kernphysik, Univer-  
sität Karlsruhe)  
Prof. R.P. Hübener (Universität Tübingen, L-Saksa)  
Dr. G.A. Kharadze (Institute of Physics, Georgian Academy of  
Sciences, Tbilisi)  
Dr. D. Lemke (Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg)  
Prof. E.J. Leyarovski (Institute of Solid State Physics, Bulga-  
rian Academy of Sciences, Sofia)  
Dr. J. Mamaladze (Institute on Physics, Georgian Academy of  
Sciences, Tbilisi)  
Dr. T. Niinikoski (CERN, Geneve)  
Dr. H. Novak (Physikalisch-Technische Institut, Akademie der  
Wissenschaften, Jena)  
Dr. M. Odehnal (Institute of Physics, Czechoslovak Academy of  
Sciences, Praha)  
Dr. G. Pickett (University of Lancaster, Englanti)  
Prof. L.P. Pitaevskii (L.D. Landau Institute for Theoretical  
Physics, Academy of Sciences, Moskova)  
Dr. P.R. Roach (Argonne National Laboratory, Illinois)  
Prof. R.S. Safrata (Institute of Physics, Czechoslovak Academy  
of Sciences, Praha)  
Dr. A-S. Siderenko (Institute of Applied Physics, Moldavian  
Academy of Sciences, Kishinev)  
Dr. K. Sköld (Naturvetenskapliga forskningslaboratoriet, Studs-  
vik, Ruotsi)  
Dr. Z. Starcuck (Institute of Scientific Instruments, Czecho-  
slovak Academy of Sciences, Brno)



Dr. M. Steiner (Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, L-Berlin)

Dr. V. Tsubko-Sitnikov (Joint Institute of Nuclear Research, Dubna)

Prof. J. Wilkins (Cornell University, Ithaca, New York)

Dr. B.S. Worthington (University of Nottingham)

Prof. Q. Zhang (Academy of Sciences, Beijing)

Dr. E. Zwangobani (Scientific Computig Center, Harare, Zimbabwe)

#### SEMINAARIESITELMÄT

Mr. O. AVENEL "Sound propagation experiments in superfluid  $^3\text{He}$ "

Prof. J. BEATTY "Magnetic fields of the human brain"

Dr. K. BEDELL "Polarized, Pauli-enhanced Fermi liquids in finite magnetic fields"

Tkt P. BERGLUND "Measurements on the quantized Hall effect"

Dr. P. BRUSOV "Collective excitations in the superfluid  $^3\text{He}$  phases and their manifestation in sound and NMR experiments"

Dr. D. EINZEL "Diffusion induced multiple spin echoes in normal Fermi liquids"

Prof. A.L. FETTER "Convection in dilute superfluid mixtures"

Dr. I.A. FOMIN "Theory of the NMR-line widths in rotating  $^3\text{He-A}$ "

Dr. E.E. GODIK "Physical fields of the human body"

Tkt T. HAAVASOJA "Measurement of the density of states of a 2-dimensional electron system by the de Haas-van Alphen effect"

DI P. HAKONEN "Vortices in  $^3\text{He}$ -superfluids"

LKT R. HARI "On the role of MEG in basic brain research"

Prof. W. HEINZ "About large scale applications of superconductivity and superconducting magnets"

DI M. HUIKU "Phase diagram for nuclear magnetic ordering in copper metal"

Prof. R.P. HÜBENER "Low-temperature scanning-electron microscopy: A new tool in solid-state physics"

DI R. ILMONIEMI "SQUID-magnetometers for neuromagnetism:



- examples and design considerations"
- Prof. G. KHARADZE "How to excite parametrically longitudinal spin waves in  $^3\text{He-A}$ "
- DI J. KNUUTILA "The new thin film rf-SQUID made in Otanietti: presentation and some signal coupling considerations"
- Prof. P. KUMAR "An overview of the theory of nuclear spin ordering in metals"
- Prof. J. KURKIJÄRVI "Full nonlinear properties of the dc-SQUID"
- Dr. A. LIETOILA "Modern production techniques in semiconductor technology"
- FT E. LIUKKONEN "The construction plans for a superconducting cyclotron at the University of Jyväskylä"
- Dr. V.P. MINEEV "Trapping potential of negative ions by vortices in superfluid  $^3\text{He}$ " ja  
"Influence of textures on zero sound attenuation in the rotating liquid"
- Prof. R. NIEMINEN "Chaos in Ising systems"
- TkT T. NIINIKOSKI "Large scale applications of dilution refrigerators"
- Dr. H. NOVAK "Thin film dc-SQUID devices and their use in Jena"
- DI K. NISKANEN "Real space renormalization group"
- DI J. PEKOLA "Progress report on the gyroscope experiment" ja  
"Persistent current experiments on superfluid  $^3\text{He}$ "
- Dr. G. PICKETT "New methods in nuclear cooling to the  $\mu\text{K}$  regime" ja  
" $^3\text{He}$  and  $^3\text{He}/^4\text{He}$  solutions in the long mean free path regime"
- Prof. L.P. PITAEVSKII "On the classification of possible types of superconductivity in metals"
- Dr. P. ROACH "Progress report on the experimental study of nuclear order in solid  $^3\text{He}$ "
- Dr. J. SAULS "Textural and superflow effects on the collective mode spectrum of superfluid  $^3\text{He}$ " ja  
"Particle-hole symmetry violation in normal  $^3\text{He}$ "



Dr. H. SEIFERT "Chaotic behavior of Josephson junctions"  
Dr. H. SEPPÄ "Optimization of the rf-SQUID noise thermometer"  
DI J. SIMOLA "NMR measurements on vortices in rotating superfluid  $^3\text{He}$ "  
Dr. M. STEINER "Neutron diffraction studies of nuclear polarisation and order"  
TKT I. SUNI "Production methods of thin film structures"  
Dr. J. TSAKADZE "Pulsars and superfluidity" ja  
"Oscillating experiments in rotating superfluids"  
Prof. J. WILKINS "Valence fluctuation in the rare earths"

LABORATORION HENKILÖKUNNAN PITEMPPIKAINEN TYÖSKENTELY ULKO-  
MAILLA

ANTERVO teki tieteellistä tutkimustyötä Hospital de  
la Salpetrieren neuromagnetismlaborato-  
riossa, Pariisissa 1.4.-31.5.1984

BERGLUND työskenteli vieraillevana tutkijana Francis  
Bitter National Magnet Laboratory'ssa,  
Massachusetts Institute of Technology, 15.  
2.1984 saakka.

LOUNASMAA työskenteli New Yorkin yliopiston fysiikan  
laitoksen neuromagnetismlaboratoriossa  
1.11.1983 saakka

KYLMÄLABORATORION JÄRJESTÄMÄT TILAISUUDET

Workshop on nuclear magnetic order in copper and the feasi-  
bility of neutron diffraction measurements, Otaniemi 22.8.1983

Esitelmät:

HUIKU "Experimental techniques and recent measu-  
rements on nuclear ordering in copper"



JYRKKIÖ

"Neutron diffraction for studying nuclear order in copper"

KURKIJÄRVI

"Review and criticism of the theory of nuclear order in copper"

NORDITA spring school on condensed matter physics Tvärminnen eläintieteellinen asema 1.-7.4.1984.

Järjestäjinä olivat dos. Salomaa ja prof. Hertz (NORDITA). Tilaisuudessa oli 50 osanottajaa 10 eri maasta, pääosa Pohjoismaista. Kylmälaboratoriosta kouluun osallistuivat Brusov, Fishman, Hakonen, M. Kajanto, Ohmi, Oja, Zhang ja Salomaa.

ICEC 10-konferenssi, Otaniemi

Kylmälaboratorio järjesti 31.7.-3.8.1984 Kymmenennen kansainvälisen kryotekniikan konferenssin ja näyttelyn (ICEC 10). Järjestelytoimikunnan puheenjohtajana oli Lounasmaa, varapuheenjohtajana Berglund ja jäsenenä Collan, Haavasoja, Ikkala, Ilmoniemi, Krusius ja Penttinen. Konferenssin sihteerinä toimi Salmelin. Kylmälaboratorion koko henkilökunta oli mukana järjestelytehtävissä. Konferenssijulkaisun toimittajia olivat Collan, Berglund ja Krusius.

Osanottajia kokouksessa oli 320, kaikkiaan 22 eri maasta. Eniten edustajia oli Suomen ohella Japanista ja Yhdysvalloista. Konferenssin järjestäminen Suomessa korosti maamme vahvaa asemaa kylmäfysiikan tutkimuksen alalla ja antoi myös suomalaiselle teollisuudelle tietoa ja ideoita kryogeniikan sovellutuksista.

Kylmälaboratorion tutkijoista Haavasoja piti yleisesitelmän aiheesta "Refrigeration in the milli-, micro-, and nanokelvin regions of temperature". Tiedonantoja esittivät Berglund ja Pekola.



OSALLISTUMINEN KONGRESSEIHIN JA KOULUTUSTILAISUUKSIIN

ANTERVO European Neuroscience Association'in (ENA) talvi-  
koulu "New developments in the investigation of the  
human brain" Zuo, Sveitsi 7.-14.1.1984

Lääketieteellisen fysiikan ja tekniikan yhdistyk-  
sen Progress report 1983 -kilpailussa 18.11.1983  
esitelmä: "Jalan tahdonalaista liikettä edeltävät  
elektro- ja magnetoencefalografiset muutokset ihmi-  
sellä"

BERGLUND Cryogenic Engineering Conference, Colorado Springs,  
Colorado 15.-17.8.1983

COLLAN Lääketieteellisen tekniikan tutkimuksen arviointi-  
seminaari (Suomen Akatemian järjestämä), Helsinki  
27.9.1983. Lyhyt esitys: "Fosfori-NMR-hanke"

Syklotroniseminaari (Jyväskylän yliopiston fysiikan  
laitoksen järjestämä), Konneveden biologinen tutki-  
musasema 31.10.-1.11.1983. Luennot: "Kryotekniikas-  
ta" ja "Supramagneettien sovellutuksista"

Fysiikan päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

Lääketieteellisen fysiikan ja tekniikan yhdistyksen  
järjestämä NMR - teemapäivä, Helsinki 12.3.1984.  
Esitelmä: "TKK:n kylmälaboratorion fosfori-NMR-han-  
ke"

HAKONEN ROTA-II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1983.  
Esitelmä: "NMR properties of rotating  $^3\text{He-B}$ "

Fysiikan päivät, Aulanko 3.-4.2.1984. Kutsuttu esi-  
telmä: "Vorteksit  $^3\text{He}$  supranesteessä"

HARI 7th ENA -konferenssi Hampuri, 12.-16.9.1983 ja An-  
nual meeting of the Scandinavian Association for



the Study of Pain, Ähtäri 14.-16.3.1984. Kummassa-  
kin esitelmä: "Neuromagnetic responses in pain re-  
search"

ENA Satellite Symposium, "New Approaches to Pain  
Measurements in Man", Hampuri 16.-18.9.1983. Kut-  
suttu esitelmä: "Cortical representation of dental  
pain as revealed by neuromagnetic recordings in  
man"

Biosähköisten ilmiöiden mittausta ja stimulaatio sai-  
raalaolosuhteissa - kurssi Tampereen yliopistossa  
11.11.1983. Esitelmä: "Volyymikonduktion merkitys  
johtonopeus- ja herätepotentiaalitutkimuksissa"

The First Finnish-Soviet Seminar on Supersensitive  
Magnetometry and Biomagnetism, Moskova 6.-10.2.1984

Fysiikan päivät, Aulanko 3.-4.2.1984. Kutsuttu esi-  
telmä: "Magnetoencefalografia - noninvasiivinen ta-  
pa tutkia aivojen toimintaa"

HOLMSTRÖM ROTA II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1983

HUIKU Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

HÄMÄLÄINEN Biofysiikan ja lääketieteellisen tekniikan lisen-  
siaattiseminaari, Oulun yliopisto (Suomen Fyysikko-  
seuran järjestämä) 17.11.1983. Esitelmä: "Aivojen  
synnyttämien magneettikenttien mittaaminen"

The First Finnish-Soviet Seminar on Supersensiti-  
ve Magnetometry and Biomagnetism, Moskova 6.-10.2.  
1984. Esitelmä: "Data acquisition and analysis for  
magnetoencephalographic experiments"

IKKALA Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

Syklotroniseminaari (Jyväskylän yliopiston fysiikan



laitoksen järjestämä), Konneveden biologinen tutkimusasema, 31.10.-1.11.1983. Kutsuttu esitelmä: "Kryoastian lämpölaskut"

ILMONIEMI 7th ENA-konferenssi, Hampuri 12.-16.9.1983

Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

JYRKKIÖ Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

KAUKORANTA 7th ENA-konferenssi, Hampuri 12.-16.9.1983

ENA Satellite Symposium, Hampuri "New Approaches to Pain Measurements in Man", 16.-18.9.1983

ENA:n talvikoulu, "New developments in the investigation of the human brain", Zuog, Sveitsi 1.-14.1.1984

The First Finnish-Soviet Seminar on Supersensitive Magnetometry and Biomagnetism, Moskova 6.-10.2.1984. Esitelmä: "Magnetoencephalographic detection of activity from the somatosensory cortices in man"

KNUUTILA The First Finnish-Soviet Seminar on Supersensitive Magnetometry and Biomagnetism, Moskova 6.-10.2.1984. Esitelmä: "A four-channel SQUID magnetometer"

KRUSIUS ROTA II symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1984. Esitelmä: "Textural metastabilities in rotating superfluid  $^3\text{He}$ "

Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

LOUNASMAA Cryogenic Engineering Conference, Colorado Springs, 16.-19.8.1983. Yleisesitelmä: "The pursuit of absolute zero: A review". Toimiminen istunnon puheenjohtajana



Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

NENONEN ROTA II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1984.  
Esitelmä: "Experiments on the Josephson effect in  
superfluid  $^3\text{He}$ "

NUMMILA ROTA II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1984.  
Esitelmä: "Progress report on the ROTA persistent  
current experiments"

Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

OJA Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

PEKOLA Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

PENTTINEN Syklotroniseminaari (Jyväskylän yliopiston fysiikan  
laitoksen järjestämä), Konneveden biologinen tutki-  
musasema 31.10.-1.11.1983. Esitelmä: "Heliumnes-  
teyttimet"

REINIKAINEN Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

The First Finnish-Soviet Seminar on Supersensitive  
Magnetometry and Biomagnetism, Moskova 6.-10.2.  
1984. Esitelmä: "Somatosensory evoked fields from  
SI: how should we interpret them?"

SALMELIN ROTA II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1983

SALMINEN J. The First Finnish-Soviet Seminar on Supersensitive  
Magnetometry and Biomagnetism, Moskova 6.-10.2.  
1984. Esitelmä: "Off-line data analysis for mag-  
netoencephalographic experiments"

SALOMAA ROTA II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1983.  
Esitelmä: "Vortices with superfluid core in  $^3\text{He-B}$ "



NORDITA - Landau Institute Workshop, Moskova 5.-22.  
1.1984

Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

American Physical Societyn yleiskokous, Detroit  
26.-29.3.1984. Kutsuttu esitelmä: "Magnetic vortices with superfluid cores in rotating  $^3\text{He-B}$ "

SEPPÄLÄ Fysiikan Päivät, Aulanko 3.-4.2.1984

SIMOLA ROTA II Symposio, Mtskheta, Gruusia 1.-5.8.1983.  
Esitelmä: "NMR measurements on vortices in rotating  $^3\text{He-A}$ "

American Physical Societyn yleiskokous, Detroit  
26.-29.3.1984. Kutsuttu esitelmä: "NMR measurements on vortices in superfluid  $^3\text{He}$ "

#### MUUT TIETEELLISET TUTUSTUMISKÄYNNIT SEKÄ PIDETYT ESITELMÄT

ANTERVO Ambroise Pare'n sairaalan, Boulogne, biomagnetismimittausasema, 24.-25.5.1984, tutustumiskäynti

BERGLUND Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey 20.2.1984, tutustumiskäynti

Michigan State University, Cyclotron Laboratory, East Lansing 21.-24.2.1984, tutustumiskäynti

University of Wisconsin, Madison 26.2.1984, tutustumiskäynti

Fermilab, Batavia, Illinois 28.2.1984, tutustumiskäynti

University of California, Lawrence Livermore Laboratories, Kalifornia 29.2.-2.3.1984. Esitelmä:



"Measurements on the quantum Hall effect"

National Bureau of Standards, Boulder, Colorado  
6.3.1984, tutustumiskäynti

Los Alamos National Laboratory, New Mexico 7.-11.3.  
1984. Esitelmä: "Measurements on the quantum Hall  
effect"

Oak Ridge National Laboratory, Tennessee 12.3.1984,  
tutustumiskäynti

Princeton University, New Jersey 15.3.1984, tutus-  
tumiskäynti

HARI Tsekkoslovakian tiedeakatemia, Fysiikan laitos 22.-  
29.10.1983, tutustumiskäynti

Charles University, Praha 27.10.1983. Esitelmä:  
"Results and possibilities of the MEG"

HARI Aivokirurgian instituutti, Kurchatov-instituutti,  
HÄMÄLÄINEN Radiotekniikan ja elektroniikan instituutti, Kor-  
KAUKORANTA keampien aivotointojen ja neurofysiologian insti-  
KNUUTILA tuutti, tutustumiskäynnit Moskovassa 6.-10.2.1984  
REINIKAINEN  
SALMINEN J.

HUIKU Hahn-Meitner Institut, L-Berliini 23.-29.1.1984.  
Esitelmä: "Nuclear ordering in copper"

Risø National Laboratory, Roskilde 31.1.-2.2.1984.  
Esitelmä: "Static susceptibility experiments at  
nanokelvin temperatures on copper"

JYRKKIÖ Naturvetenskapliga forskningslaboratoriet, Studs-  
vik, 24.-28.10.1983 ja 10.-15.11.1983, tutustumis-  
käynnit



KRUSIUS      Institut für Festkörperforschung, Kernforschungsanlage Jülich 20.-22.10.1983. Esitelmä: "Vortices in superfluid  $^3\text{He}$ "

LOUNASMAA    Cornellin Yliopisto 19.9.1983, New Yorkin Yliopisto 29.9.1983, Yalen Yliopisto 30.9.1983 ja Argonne National Laboratory 10.10.1983. Esitelmä em. paikoissa: "Nuclear antiferromagnetism in copper at nanokelvin temperatures"

Ruotsin Kuninkaallinen Tiedeakatemia, Tukholma 23.11.1983, Uppsalan Yliopisto, 24.11.1983 ja Tukholman Fyysikkoseura, 25.11.1983. Esitelmä em. paikoissa: "Towards the absolute zero; the cold frontier of physics"

Suomalais-ranskalaisen teknillistieteellisen seuran yleiskokous, Helsinki 24.5.1984. Esitelmä: "Neuromagnetic measurements using the SQUID"

PEKOLA      L.D. Landau Institute for Theoretical Physics ja Institute for Physical Problems, Moskova 9.-14.5.1984. Esitelmä: "Persistent current experiments on superfluid  $^3\text{He}$ : a first order phase transition in the B-phase"

SALOMAA      L.D. Landau Institute for Theoretical Physics, Moskova 5.-9.9.1983 ja 20. - 26.11.1983, vierailevana tutkijana

Helsingin yliopiston teoreettisen fysiikan tutkimuslaitos 27.9.1983. Esitelmä: "Vortices with ferromagnetic superfluid core in  $^3\text{He-B}$ "

Institut für Festkörperforschung, Kernforschungsanlage Jülich 11.-13.12.1983. Esitelmät: "Vortices with superfluid core in  $^3\text{He-B}$ " ja "Chaos in rf-SQUIDS".



- Technische Universität, München 13.-15.12.1983, Universität Bayreuth, 15.-16.12.1983, Universität Regensburg, 16.-17.12.1983 ja H.C. Ørsted Institutet, Kööpenhamina 17.-19.12.1983. Esitelmä em. paikoissa: "Vortices with superfluid core in  $^3\text{He-B}$ "
- Jyväskylän yliopisto 23.-25.2.1984. Esitelmät: "Vortices in superfluid  $^3\text{He-B}$ " ja "Chaos in rf-SQUIDS"
- L.F. Landau Institute for Theoretical Physics, Moskova 9.-12.3.1984, University of California, Berkeley 15.-18.3.1984, University of California ja University of Southern California, Los Angeles 19.-25.3.1984. Esitelmät em. paikoissa: "Vortices in superfluid  $^3\text{He}$ " ja "Vortices with superfluid core in  $^3\text{He-B}$ "
- H.C. Ørsted Institutet, Kööpenhamina 27.6.1984, vierailu
- NORDITA, Kööpenhamina 28.-30.6.1984. Esitelmä "Rotating superfluid  $^3\text{He}$ "
- SIMOLA Ohio State University 19.3.1984, Argonne National Laboratory 20.3.1984, Northwestern University, Evanston 21.3.1984, Cornell University 23.3.1984. Esitelmä em. paikoissa: "NMR experiments on rotating superfluid  $^3\text{He}$ "
- JULKAISUT
- P. Berglund, H.K. Collan, and O.V. Lounasmaa, Superconducting Magnet Applications in Finland, Acta Polytech. Scand. No. 138, 20 (1983).
- Yu.M. Bunkov, P.J. Hakonen, and M. Krusius, NMR Measurement on Textures in Rotating Superfluid  $^3\text{He-B}$ , in Quantum Fluids and Solids - 1983, eds. E.D. Adams and G.E. Ihas, AIP Conference



Proc. No. 103, New York, 1983, p. 194.

K. Clausen, M.T. Huiku, T.A. Jyrkkiö, M.T. Lojonen, O.V. Lounasmaa, P.R. Roach, and K. Sköld, Neutron Diffraction Experiments on Ordered Copper Nuclei at Nanokelvin Temperatures, Report TKK-F-A529 (1983).

H. Collan, H. Ahola, A. Penttinen, S. Hirvonen, E. Liukkonen, M. Luontama ja V. Nieminen, Ensimmäisen suomalaisesta suprajohtimesta valmistetun suprajohtavan magneetin koestustulokset, Report TKK-F-A526 (1983).

H.K. Collan, M.A. Kokkala and O.E. Toikka, A New Mathematical Model for the Performance of Axial Magnetic Filters, Magnetic Separation News 1, 151 (1984).

P.J. Hakonen, M. Krusius, M.M. Salomaa, J.T. Simola, Yu.M. Bunkov, V.P. Mineev, and G.E. Volovik, Magnetic Vortices in Rotating Superfluid  $^3\text{He-B}$ , Phys. Rev. Lett. 51, 1362 (1983).

R. Hari, Volyyimikonduktion merkitys johtonopeus- ja herätepotentiaalitutkimuksissa. "Biosähköisten ilmiöiden mittausta ja stimulaatio sairaalaolosuhteissa". Tampereen Yliopisto, Lääketiet. tiedekunta, Opetusta koskevia julkaisuja No. 30, 210 (1983).

R. Hari, M. Hämäläinen, E. Kaukoranta, K. Reinikainen, and D. Teszner, Neuromagnetic Responses from the Second Somatosensory Cortex in Man, Acta Neurol. Scand. 68, 207 (1983).

R. Hari, E. Kaukoranta, K. Reinikainen, T. Huopaniemi, and J. Mauno, Neuromagnetic Localization of Cortical Activity Evoked by Painful Dental Stimulation in Man, Neurosci. Lett. 42, 77 (1983).

R. Hari, K. Reinikainen, E. Kaukoranta, M. Hämäläinen, R. Ilmoniemi, A. Penttinen, J. Salminen, and D. Teszner, Somatosensory Evoked Cerebral Magnetic Fields from SI and SII in Man, Electroenceph clin. Neurophys. 57, 254 (1984).



M.T. Huiku, T.A. Jyrkkiö, M.T. Lojonen, and O.V. Lounasmaa, Nuclear Cooperative Phenomena in Copper at Nanokelvin Temperatures, Quantum Fluids and Solids - 1983, Eds. E.D. Adams and G.G. Ihas, AIP Conf. Proc. No 103, p. 441 (1983).

E. Kaukoranta, R. Hari, K. Reinikainen, and M. Hämäläinen, Magnetoencephalographic Detection of Activity from the SII Area in Man, Abstract of the Seventh European Neuroscience Congress (Hamburg, Sept. 12-16, 1983), Neurosci. Lett. 14, S191 (1983).

M. Krusius, Magnetic Thermometer, Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill Book Co., (New York, 1984).

O.V. Lounasmaa, The Pursuit of Absolute Zero, Advances in Cryogenic Engineering 29, 551 (1984).

O.V. Lounasmaa, Perustutkimus tarvitsee lisää varoja ja resursien uusjakoa, Helsingin Sanomat (Alakerta 16.6.1984).

O.V. Lounasmaa, M.T. Manninen, S.A. Nenonen, J.P. Pekola, R.G. Sharma, and M.S. Tagirov, Search for the AC Josephson Effect in Superfluid  $^3\text{He}$ , Phys. Rev. B 28, 6536 (1983).

O.V. Lounasmaa, M.T. Manninen, S.A. Nenonen, J.P. Pekola, R.G. Sharma, and M.S. Tagirov, A Search for the AC Josephson Effect in Superfluid  $^3\text{He}$ , Quantum Fluids and Solids - 1983, Eds. E.D. Adams and G.E. Ihas, AIP Conference Proc. No. 103, New York, 1983, p. 352.

M.T. Manninen and J.P. Pekola, Flow of Superfluid  $^3\text{He}$  through Micrometer-Size Channels, J. Low Temp. Phys. 52, 497 (1983).

V.P. Mineev and M.M. Salomaa, Interaction of Negative Ions with Vortices in Superfluid  $^3\text{He-B}$ , J. Phys. C: Solid State Phys. 17, L181 (1984).

A.S. Oja and M.M. Salomaa, Fourier Transform of the Ruderman-Kittel Interaction Using Ewald's Method, J. Phys. C: Solid State Phys. 17, L187 (1984).



J.P. Pekola, J.T. Simola, K.K. Nummila, O.V. Lounasmaa, and R.E. Peckard, Persistent-Current Experiments on Superfluid  $^3\text{He-B}$  and  $^3\text{He-A}$ , Phys. Rev. Lett. 53, 70 (1984).

A. Penttinen, Cryogenics in Finland: Low Temperature Laboratory at the Helsinki University of Technology, Scand. Refrigeration 5/83, 245 (1983).

A. Pertovaara, K. Reinikainen and R. Hari, The Activation of Unmyelinated or Myelinated Afferent Fibers by Brief Infrared Laser Pulses Varies with Skin Type. Brain Res. 307, 341 (1984).

R.K. Ritala and M.M. Salomaa, Chaotic Dynamics of Periodically Driven RF Superconducting Quantum Interference Devices, Phys. Rev. B 29, 6143 (1984).

M.M. Salomaa, Vortices with Ferromagnetic Superfluid Core in Rotating  $^3\text{He-B}$ , Bull. Am. Phys. Soc. 29, 329 (1984, Abstract).

M.M. Salomaa and G.E. Volovik, Vortices with Ferromagnetic Superfluid Core in  $^3\text{He-B}$ , Phys. Rev. Lett. 51, 2040 (1983).

M.M. Salomaa and G.E. Volovik, Response on: Vortices with Ferromagnetic Superfluid Core in  $^3\text{He-B}$ , Phys. Rev. Lett. 52, 2008 (1984).

M.M. Salomaa and G.E. Volovik, On the Theory of Textures in Rotating Superfluid  $^3\text{He}$ , Quantum Fluids and Solids - 1983, Eds. E.D. Adams and G.E. Ihas, AIP Confer. Proc. No. 103, New York, 1983, p. 210.

H.K. Seppälä, P.J. Hakonen, M. Krusius, T. Ohmi, M.M. Salomaa, J.T. Simola, and G.E. Volovik, Continuous Vortices with Broken Symmetry in Rotating Superfluid  $^3\text{He-A}$ , Phys. Rev. Lett. 52, 1802 (1984).

J.T. Simola, NMR Measurements on Vortices in Rotating Superfluid  $^3\text{He}$ , Bull. Am. Phys. Soc. 29, 329 (1984, Abstract).