

# Victorin ja Valerien seurassa geomagneettisten pulsaatioiden tutkimuksiin

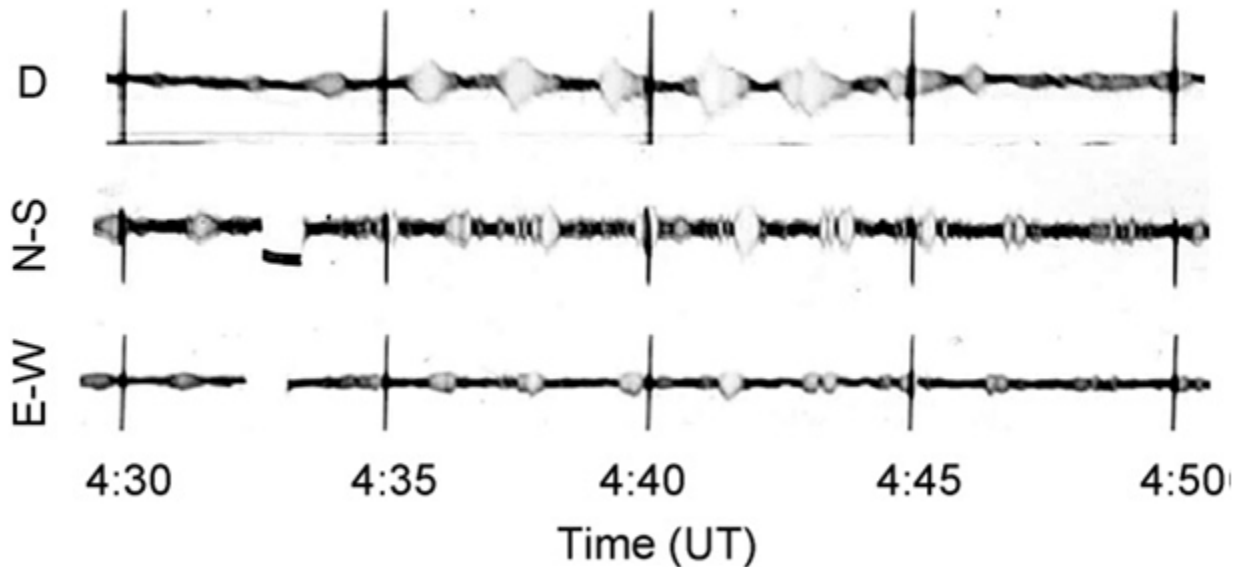
Jorma Kangas

Oulun yliopisto, Fysiikan laitos

Oulun yliopiston fysiikan laitoksen avaruustutkimus alkoi kosmisen säteilyn mittauksilla, joita varten 1960-luvun alkupuolella rakennettiin myoniteleskooppi ja neutronimonitori maan pinnalla tehtävää hiukkassäteilyn monitorointia varten. Näitä mittauksia laajennettiin osallistumalla vuodesta 1965 alkaen palloluotaimilla tehtyihin mittauksiin noin 30-40 kilometrin korkeudella (kts. Areenan artikkeli: Jorma Kangas ja Pekka Tanskanen: [Vetyalloilla avaruuteen- Avaruustutkimuksen alkuvaiheita Oulussa](#)). Luotaimilla mitattiin myös revevontulien yhteydessä syntyvää jarrutussäteilyä, jonka avulla voitiin tutkia korkeaenergisten elektronien purkautumista magnetosfääristä ilmakehään. Tässä röntgensäteilyssä esiintyi ajoittain varsin säännöllisiä nopeita vaihteluita, samoilla taajuuksilla kuin geomagneettisessa kentässä oli havaittu pulsaatioita jo pitkään. Oli luonnollista, että tutkijat pohtivat, olisiko näillä ilmiöillä jokin syvällisempi yhteys.

## Victor Hessler ja Valerie Troitskaya astuvat esiin

Geomagneettisen kentän erilaisia vaihteluita on mitattu monilla magneettisilla asemilla jo pitkään. Esim. Sodankylän magneettinen observatorio aloitti toimintansa jo vuonna 1913 ja siellä tehtiin alan tutkimuksen kannalta historiallisia ensimmäisiä havaintoja 1930-luvulla 2. Polaarivuoden aikana. Tuolloin Sodankylään sijoitettiin laitteita, joilla voitiin ensimmäisen kerran rekisteröidä pulsaatioita, joiden periodi oli sekunnin luokkaa eli ns. Pc1-pulsaatioita ja joille löytäjä, observatorion johtaja Eyvind Sucksdorff antoi kauniin nimen "helmiäiset". Sodankylässä jatkettiin näitä mittauksia ja myöhemmin vuonna 1963 professori Victor Hessler Alaskan yliopistosta sijoitti nykyaikaisemmat induktiomagnetometrit Sodankylään ja Nurmijärvelle. Hessler oli aikoinaan Alaskan Geofysiikan Instituutin johtaja.



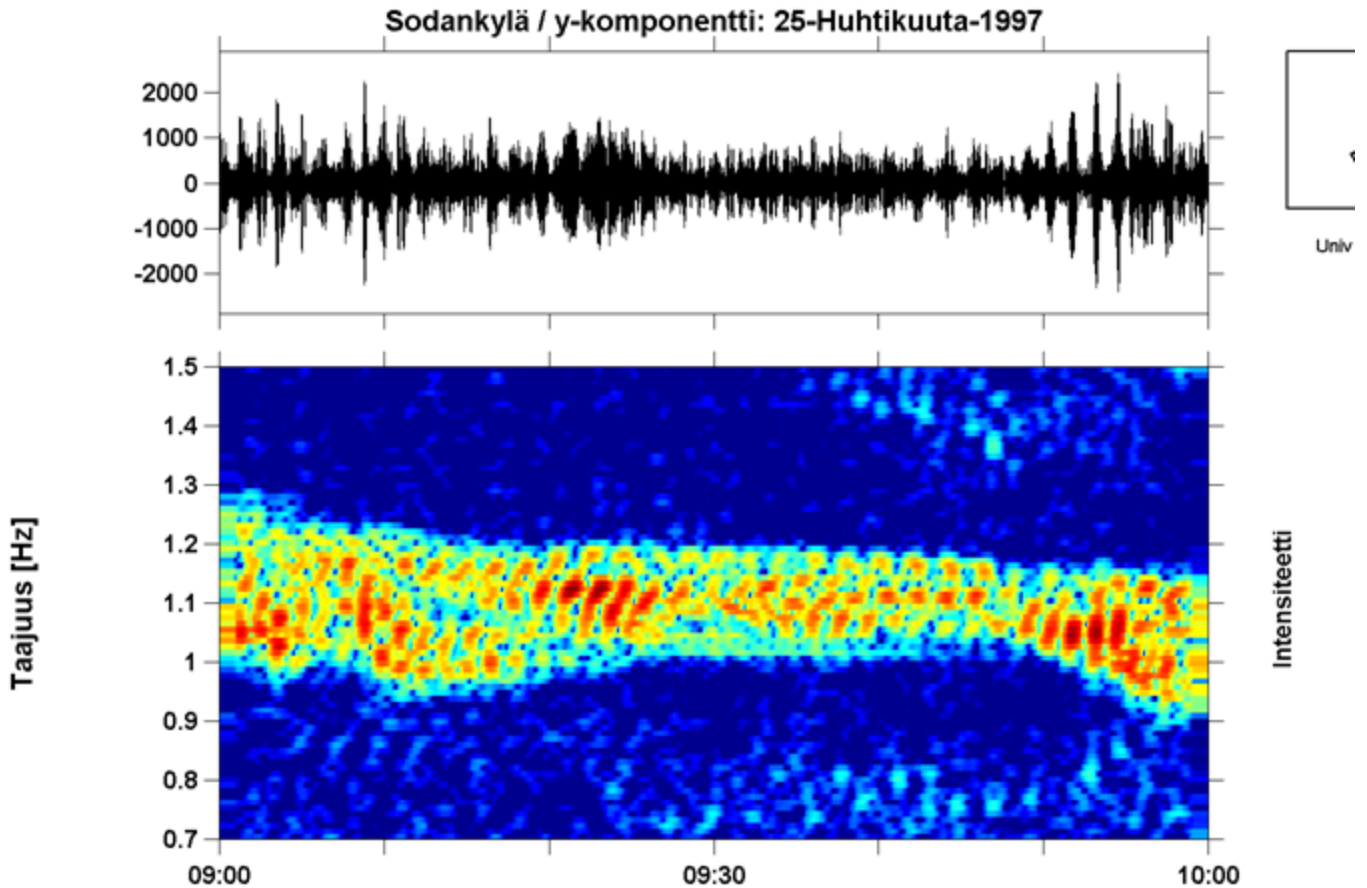
Kuva 1. Historiallisia rekisteröintejä Sodankylässä 6.2.1935. Geomagneettisten Pc1-pulsaatioiden aiheuttamia helminauhakuvioita magnetometrin (D) ja maavirtalaitteen (N-S, E-W) rekisteröinneissä.

Professori Hessler vieraili Oulussa vuonna 1969 ja samana vuonna järjestettiin pulsaatiосymposium Wetterkullassa, jossa Hesslerin kanssa sovittiin alustavasti pulsaatiotutkimusyhteistyöstä. Hän toivoi, että Suomessakin joku alkaisi tutkia pulsaatiodataa. Myös rekisteröintien aloittaminen Oulussa asetettiin tavoitteeksi ja jatkuvat mittaukset aloitettiin vuonna 1974 Oulussa laitekehittelyn ja testausten jälkeen. Jo olemassa olleiden Sodankylän ja Nurmijärven asemien lisäksi pulsaatiomagnetometrit sijoitettiin myös Kevolle ja Luonetjärvelle. Wetterkullassa tavattiin uudelleen vuonna 1971. Hessler oli jo eläkkeellä ja varsinainen yhteistyö Alaskan kanssa tapahtui Hesslerin kollegan, Rick Heacockin kanssa. Vierailiin hänen ja Hesslerin luona USA:ssa vuonna 1974. Myöhemmin yhteistyö jatkui Heacockin seuraajan, John Olsonin kanssa.

Neuvostoliittoon oli syntynyt 1960-luvulla vahva magneettisten pulsaatioiden tutkimusryhmä professori Valerie Troitskayan johdolla. Hän oli Moskovassa toimivan Maafysiikan Instituutin johtavia tutkijoita. Troitskaya oli voimakas persoona, joka toimi mm. IAGA-järjestön puheenjohtajana ja valittiin kerran Neuvostoliiton Vuoden Naiseksi! Häntä puhuteltiinkin Mme Troitskayaksi. Valerie teki monia ensimmäisiä löytöjä pulsaatiotutkimuksen alalla. Hän pohti ensimmäisenä, mitä informaatiota maan pinnalla havaittavat geomagneettiset pulsaatiot kertovat aurinkotuulesta ja aurinkotuulen ja maan magnetosfäärin välisestä vuorovaikutuksesta. Troitskaya oli Hesslerin hyvä ystävä - heitä kutsuttiin ammattipiireissä pulsaatioiden kuningattareksi ja kuninkaaksi! Kun aloimme perehtyä aihepiiriin 1970-luvun alussa, he kutsuivat meidät mukaan kirjoittamaan laajaan raporttiin "Polar Micropulsations", jonka Hessler ja Troitskaya toimittivat. Tehtävämme tuli laatia yhteenveto siihenastisista revontulien ja röntgensäteilyn pulsaatioiden sekä magnetosfäärin häiriön eli ns. alimyrsyn tutkimuksista. Saimme siis aloittaa tutkimustyön magneettisten pulsaatioiden alalla kahden alan tunnustetun gurun opastuksella! Tapasimme Troitskayan ja hänen ryhmänsä

tutkijoita ensimmäisiä kertoja vuonna 1971 Moskovassa ja vuonna 1974 Leningradissa. Siitä alkoi yhteistyö, joka jatkuu edelleen ja johon yhteistyöhön on tullut mukaan monia muita venäläisiä laitoksia ja tutkijoita. Troitskaya vieraili Oulussa 1980-luvun alussa.

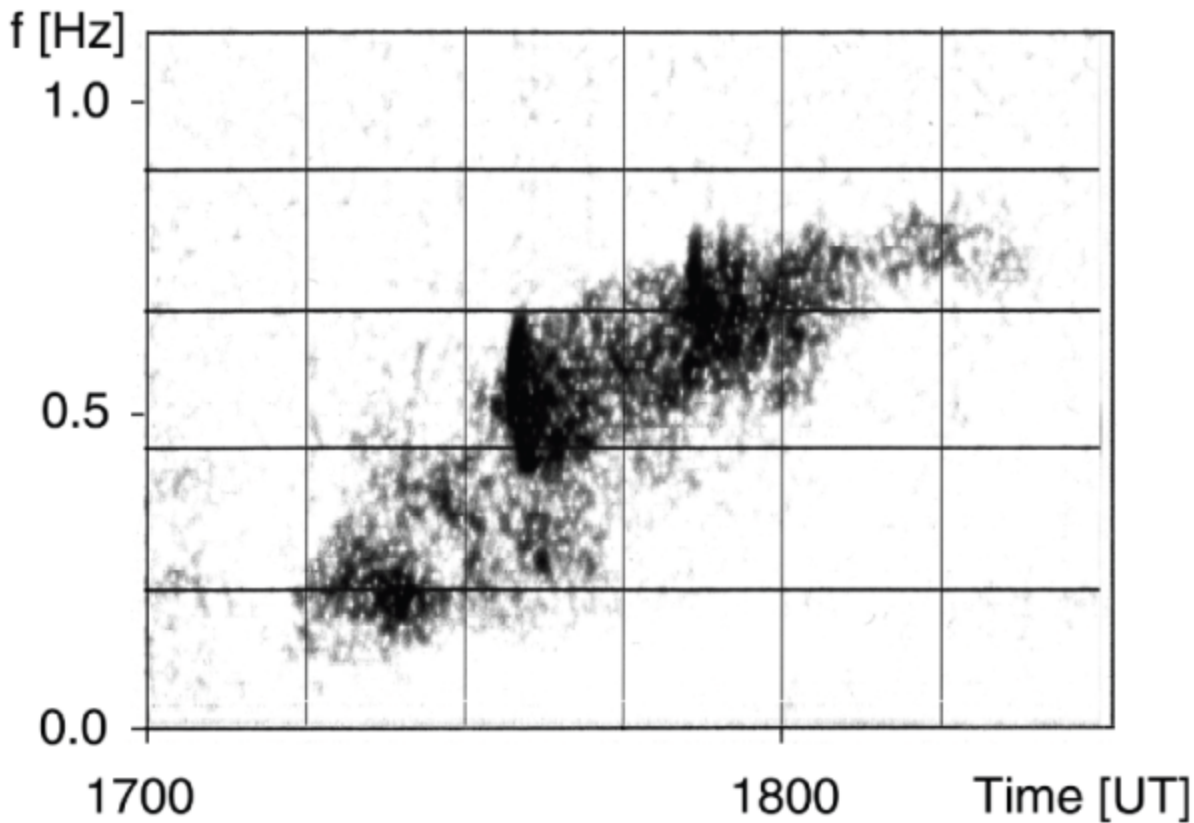
Voidaan sanoa, että magneettisten pulsaatioiden tutkimus alkoi Victor Hesslerin ja Valerie Troitskayan aloitteesta ja tuella. He edustivat perinteistä koulukuntaa. Yhdessä heidän ryhmiensä kanssa mittausasemien verkostoa laajennettiin ja esim. kansainvälisen IMS(International Magnetospheric Study)-projektin aikana vuosina 1977-79 Suomessa oli 5 mittausasemaa. Nämä asemat täydensivät saksalaisen Munsterin yliopiston Pohjois-Skandinaviaan pystyttämää yli 30 magnetometrin verkostoa mittaamalla geomagneettisten vaihteluiden spektrin korkeataajuisista osaa. Myöhemmin Tilmann Bössingerin aktiivisen toiminnan tuloksena asemia oli parhaimmillaan jopa 9, eteläisin Etiopiassa lähellä ekvaattoria. Lisäksi eräiden EISCAT-mittauskampanjoiden aikana pystytettiin väliaikaisia magnetometriasemia. Olimme myös yhteistyössä Tokion yliopiston tutkijan Kanji Hayashin kanssa, joka sijoitti suuren määrän pulsaatiomagnetometrejä Kanadaan. Englantilaisen Yorikin yliopiston professori David Orrin kanssa asennettiin hänen magnetometrejäan Ouluun ja Hankasalmele.



Kuva 2. Esimerkki helmiäispulsaatioiden spektristä.

## Tutkimusyhteistyö

Yhteistutkimusten tärkein kohde olivat magneettikentän nopeat vaihtelut eli noin 0,1-1 Hz:n taajuusalueella havaittavat Pc 1-pulsaatiot sekä ns. IPDP (Intervals of Pulsations with Decreasing Period)-pulsaatiot ja epäsäännölliset Pi1-pulsaatiot (Irregular Pulsations, periodi 1-40 s), jotka esiintyvät magnetosfäärin häiriön, ns. alimyrskyn yhteydessä. Troitskaya tunnisti ensimmäisenä IPDP-tyyppiset pulsaatiot vuonna 1959 Kansainvälisen Geofysiikan Vuoden (IGY, 1957-59) tutkimuksissaan. Monien magnetometrien verkosto oli välttämätön niiden tutkimiseksi.



Kuva 3. Esimerkki IPDP-havainnoista. IPDP (Intervals of Pulsations with Decreasing Period) -pulsatiot esiintyvät magnetosfäärin häiriön yhteydessä.

Helmiäispulsatiot ja IPDP-pulsatiot olivat olleet aina sekä Hesslerin että Troitskayan mielenkiinnon kohteena. Uusien ja monipuolisempien havaintoaineistojen avulla näitä ilmiöitä voitiin tutkia entistä paremmin. Kerättyjen pitkien havaintosarjojen perusteella saatiin tarkempi kuva mm. pulsaatioiden esiintymisestä aurinkosyklin aikana ja pulsaatioiden lähdealueen liikkeistä. Loppuhuipennuksena tälle tutkimusaktiivisuudelle järjestimme venäläisen kollegamme professori Anatoly Guglielmin aloitteesta kokouksen "Pc 1 Pearl Waves. Discovery, Morphology and Physics" Euroopan Geotieteiden Unionin yleiskokouksen yhteydessä Wienissä 2.-7.4. 2006. Kokous pidettiin sen kunniaksi, että oli kulunut 60 vuotta Sucksdorffin artikkelista koskien ensimmäisiä Pc 1-havaintoja. Esitelmät julkaistiin Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics-lehden erikoisnumerossa Vol. 69, Issue 14, 2007 (editors J. Kangas, B. Fraser and A. Potapov).

Uusi näkökulma em. pulsaatioiden tutkimuksiin avautui, kun tapasin 1980-luvulla professori Victor Trakhtengertsin Nizhny Novgorodista (silloin nimi oli Gorky), joka oli arvostettu teoreetikko magneettisten pulsaatioiden alalla. Hänen ryhmänsä oli tutkinut laajasti ionosfäärin vaikutuksia pulsaatioihin ja ionosfäärin resonaattoriominaisuuksia yhdessä taitavan kokeellisen fyysikon Pavel Belyaevin kanssa, joka ensimmäisenä havaitsi ionosfäärin "yliäännet". 1990-luvulla tutustuin tšekkiläisen Karel Priknerin menetelmään määrittää ionosfäärin resonaattorin ominaistajuuudet. Alkoi monipuolinen yhteistyö, jossa voitiin käyttää EISCAT-tutkan mittauksia määrittämään ionosfäärin profiili ainutlaatuisella tavalla pulsaatiotapausten yhteydessä. Koska oli erilaisia näkemyksiä esimerkiksi siitä, toimiiko ionosfääri passiivisena vai aktiivisena suodattimena Pc 1 pulsaatioiden taajuusalueessa, järjestin Tilmann Bösingerin kanssa kokouksen Sodankylässä 25.-28.5. 1998. Siihen kutsuttiin alan tärkeimmät tutkijat ja esitelmät julkaistiin Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics-lehden erikoisnumerossa Vol. 62, Number 4, 2000 (editors J. Kangas and V. Trakhtengerts). Ionosfäärin resonaattoriominaisuuksia on tutkittu sittemmin mm. EISCATin Heating-laitteiston avulla Tilmann Bösingerin johdolla.

Tutkimuksista, joita tehtiin amerikkalaisten, venäläisten ja japanilaisten tutkijoiden kanssa 1970-luvulta alkaen, syntyi melkoinen määrä julkaisuja. Myös opinnäytetöitä valmistui runsaasti. Tutkimus toteutettiin suhteellisin pienin resurssein. Suomalaisen asemien rahoituksesta vastasivat Sodankylän Geofysiikan Observatorio, Ilmatieteiden laitos ja Oulun yliopisto sekä Suomen Akatemia. Suomen Akatemia, TT-komitea ja Suomalainen Tiedeakatemia tukivat monella tavalla tutkijavaihtoa ja tutkimukseen liittyneitä matkoja. Tutkijatapaamisia ja -vierailuja voitiinkin järjestää jatkuvasti, useita vuosittain. Erityisen arvokasta tukea saatiin EU:n INTAS-rahoitusjärjestelmästä, joka tuki venäläistä tutkimusta 1990-luvun sekasortoisena aikana ja sen jälkeenkin. Teimme useita INTAS-hakemuksia ja saatoimme rahoittaa monen tutkijan työtä Venäjällä. Meille projektien koordinointi aiheutti runsaasti byrokratiaa, mutta tuotti myös iloa ja tyydytystä ja runsaasti mielenkiintoisia ja korkeatasoisia julkaisuja!

Magneettisten pulsaatioiden tutkimuksiin Oulun yliopistossa ovat vuosien kuluessa osallistuneet mm. Lauri Lukkari, Tapani Pikkarainen, Tilmann Bössinger, Jorma Leinonen, Kalevi Mursula, Reijo Rasinkangas, Timo Bräysy, Raine Kerttula, Tauno Turunen, Jyrki Manninen, Anita Aikio, Johannes Kultima, Tero Raita, Alexander Kozlovsky, Gerhard Kremser, Pekka Tanskanen ja Jorma Kangas. Ritva Kuula on tehnyt pitkän työrupeaman datan käsittelyssä ja arkistoinnissa.

## Epilogi

Magneettisten pulsaatioiden tutkimus on täydentänyt oululaista ja suomalaista magnetosfäärin tutkimusta mielekkäällä tavalla ja jatkanut alan pitkää perinnettä Suomessa. Suuri ponnistus oli laajan etelä-pohjoissuuntaisen asemaverkon ylläpitäminen IMS-vuosien aikana ja myöhemmin. Se oli ainutlaatuinen toimi ja palveli koko kansainvälistä tiedeyhteisöä. Tässäkin työssä on luotu valtava määrä hyödyllisiä kontakteja alan johtaviin laitoksiin ja tutkijoihin.

Geomagneettisten pulsaatioiden tutkimus jatkuu yhä. Se on kuitenkin saanut uusia muotoja. Satelliitit ovat antaneet aivan uusia mahdollisuuksia ja suomalaiset ovat päässeet hyödyntämään mm. Freja-, Polar- ja Cluster-satelliittien mittausaineistoja. Näihin kansainvälisiin tutkimusohjelmiin on osallistuttu Pekka Tanskasen ja Kalevi Mursulan johdolla. Pulsaatiomagnetometrejä on edelleen kehitetty Tilmann Bosingerin ja Tauno Turusen toimesta. Ruotsalaisen Viking-satelliittiohjelmaan liittyen rekisteröinnit uusittiin vuosina 1984-85 yhteistyössä Göttingenin yliopiston Geofysiikan laitoksen kanssa ja digitaaliseen rekisteröintiin siirryttiin vuonna 1994. Tällä hetkellä Sodankylän geofysiikan observatorio ylläpitää nykyaikaisia pulsaatiorekisteröintejä Sodankylässä, Oulussa, Nurmijärvellä, Rovaniemellä, Ivalossa, Kilpisjärvellä ja Barentsburgissa. Uusimpana sovelluksena näiden mittausten käytölle on osallistuminen laajaan CAL-projektiin (Coupling of Atmospheric Layers), jossa tutkitaan mm. salamoiden synnyttämää sähkömagneettista säteilyä.

Trilogia, joka alkoi EISCAT-tutkimusohjelman historiikilla ja jatkui pallomittausohjelman muisteluilla, päättyy tähän kirjoitukseen. Fysiikan laitoksen avaruustutkijat ovat olleet mukana näissä kolmessa pitkään jatkuneissa tiedeohjelmissa. Nämä kirjoitukset ovat osa Oulun yliopiston fysiikan laitoksen historiaa, joka toivottavasti täydentyy muilla vastaavilla kirjoituksilla. Näiden kirjoitusten tarkoitus on myös kertoa siitä, miten pieni yksikkö vähäisin resurssein on voinut päästä eri tavoilla mukaan merkittäviin avaruustutkimuksen kansainvälisiin hankkeisiin. Joskus on otettava haaste vastaan, vaikka senhetkiset resurssit näyttäisivätkin vähäisiltä. Suomalaisen ja oululaisen avaruustutkimuksen nousu on perustunut erinomaisten tutkijoiden ja Suomen Akatemian rahoituksen lisäksi työnjakoon, josta on sovittu laitosten kesken. Päällekkäistä tutkimusta ei ole oikeastaan ollut.

Avaruusprojektien suuntautuminen on uudistunut tarpeiden ja mahdollisuuksien mukaan ja johtanut uusiin painotuksiin. Tämän päivän tutkimus on luonnollinen jatko pioneerien työlle. Jostakin on täytynyt lähteä aikoinaan liikkeelle. Tutkimuksen asettamat vaatimukset ovat tietysti kasvaneet ja koulutuksen ja kansainvälisen yhteistyön merkitys ovat entisestään korostuneet.