

This is an electronic reprint of the original article. This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

---

## Vetenskapliga revolutioner i periferin

Hollsten, Laura; Sibelius, Patrick

*Published in:*  
Åbo Akademi och kunskapen

Publicerad: 01/01/2018

[Link to publication](#)

*Please cite the original version:*

Hollsten, L., & Sibelius, P. (2018). Vetenskapliga revolutioner i periferin: Mottagandet av relativitetsteorin, kvantfysiken och den moderna matematiken vid Åbo Akademi. In L. Hollsten (Ed.), *Åbo Akademi och kunskapen* (pp. 105–158). Åbo Akademi University Press. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020102788466>

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## **Vetenskapliga revolutioner i periferin**

### **Mottagandet av relativitetsteorin, kvantfysiken och den moderna matematiken vid Åbo Akademi**

Av Laura Hollsten och Patrick Sibelius

”De riktigt betydelsefulla upptäckterna inom naturvetenskapen sker inte ofta. Vår generation har i alla fall fått uppleva ett par tre.” Så här skrev professorn i fysik och senare rektor för Åbo Akademi Karl-Gustav Fogel år 1959. Fogel avsåg då frigörelsen och tämjandet av atomkraften, de nyupptäckta möjligheterna för rymdforskning och de elektroniska databehandlingsmaskinerna.<sup>1</sup> Dessa tekniska nyheter, som i slutet av 1950-talet framstod som svindlande innovationer, blev möjliga genom den internationella forskning inom fysik och matematik som utfördes under 1900-talets första hälft. Fogel, som var verksam vid fysikaliska institutet vid Åbo Akademi under åren 1948–1985, specialiserade sig på kärnfysik och var också en av dem som tidigt insåg betydelsen av datamaskiner för beräkningar inom teoretisk fysik.

Åbo Akademis tillkomst inföll under en tid av omvälvningar för de exakta vetenskaperna, förändringar som har karaktäriserats både som begreppsliga brytningspunkter och vetenskapliga revolutioner.<sup>2</sup> Den speciella relativitetsteorin, som hade lanserats av Albert Einstein 1905, hade börjat slå igenom, medan den allmänna relativitetsteorin, som Einstein framlagt 1916, ännu år 1918 för de flesta som kände till den bara framstod som en rätt märklig och kontroversiell teori. Kvantfysiken framhärddade ännu i sin ”semiklassiska” utvecklingsfas med Niels Bohr som portalfigur och Köpenhamn som centrum, men den skulle redan några år senare vara omstöpt i lämpliga och för fysiken helt nya matematiska former. Matematikens grundvalskris<sup>3</sup> var fortfarande inte helt övervunnen fastän byggstenarna, mängdläran och den formella logiken, redan hade skapats, dock utan att de ännu helt hade hittat sina rätta platser och roller i de nya grundvalarna. Kring sekelskiftet tog forskningen sig ur grundvalskriserna fram till begreppsliga upptäckter som sporrade intellekt till att skapa klarhet och enhetlighet. I synnerhet för de mest berörda disciplinerna, matematiken och den teoretiska fysiken, framstår den första halvan av

1900-talet som ett slags den moderna vetenskapens ljusa ungdomstid som var full av entusiasm, genialitet och sprudlande fantasi.

Som en följd av Europas materiella, sociala och kulturella kollaps på grund av två krig och inre terror försköts tyngdpunkten inom vetenskapen till USA. Följden blev en hjärnflykt som myndigheterna i Europa inte har lyckats stoppa ens efter mer än 70 år. Matematiker och fysiker bidrog också helt konkret till de framgångar som segrarmakterna i andra världskriget nådde. Medan särskilt kemister var efterfrågade inom krigsindustrin under första världskriget på grund av behovet att utveckla effektivare explosiva ämnen och giftiga gaser, var andra världskriget i högre grad fysikernas krig. Det var utvecklingen av radarteknik och kärnvapen som gjorde fysikerna eftersökta.<sup>4</sup> Matematiker, och i synnerhet teoretiska fysiker, hade under kriget lockats, kidnappats och fångats av bägge sidor för att bidra till krigföringen, och många vetenskapsare hade självmant valt att stå till tjänst med vad de kunde för endera sidan. Under det kalla kriget fortsatte stormakternas makthavande att utnyttja fysikers speciella kunnande för sina militära syften. Allt detta gjorde att fysikämnets främsta företrädare under denna period i allmänhetens ögon framstod som övermänniskor omgivna av ett nästan gudomligt eller demoniskt skimmer. Rent vetenskapligt övergick den ljusa ungdomsperioden för de exakta vetenskaperna sedan under 1950-talet i en period av normalvetenskap, för att citera Thomas Kuhn.<sup>5</sup> Efterkrigstidens upplysningskritik och den politiska vänsterkantringen under 1960-talet innehöll en självkritik riktad mot det västerländska kulturarvet som också omfattande de exakta vetenskaperna. Den perioden följdes i sin tur på 1980-talet och framöver av en reaktion från höger med tilltagande materialism, kommersialism och konkurrens på villkor bestämda av näringslivets måttstockar. Universitetspolitiken syftade att i högre grad underställa de exakta vetenskaperna den teknologiska utvecklingen och den omedelbara ekonomiska nyttan. Mera praktiskt orienterade ämnen som informationsbehandling och biologi började vid Åbo Akademi dra studenterna från de klassiska naturvetenskaperna. På 2000-talet fick teoretisk fysik och teoretisk matematik förhållandevis mindre resurser än tidigare och samtidigt sjönk intresset för ämnena också bland studerandena.<sup>6</sup>

Alla dessa omvärderingar och övergångar berörde hela västvärlden och kanske till och med hela världen. Syftet med detta kapitel är framför allt att förstå de intellektuella och praktiska

utmaningar som ett litet universitet som Åbo Akademi med ett mycket begränsat befolkningsunderlag och ringa resurser ställdes inför då man beaktar de stora och djuplodande idéer som revolutionerade matematiken och fysiken under 1900-talets första årtionden. I förhållande till de vetenskapliga centra där de omvälvande upptäckterna gjordes måste Åbo Akademi ses som ett perifert universitet. I vetenskapshistoria är det ofta de viktiga upptäckterna och de framstående forskarna vid de kända universiteten som står i fokus. I universitetshistoriker, vars syfte är att beskriva ett enskilt universitet, lyfts också de vanliga forskarna och lärarna fram, men i dessa har det vardagliga arbetet vid universiteten inte fått stort utrymme.<sup>7</sup> En viktig del av det vardagliga arbetet för en forskare handlar för det första om att ta del av, omvärdera och pröva ny forskning, för det andra att bidra med egen forskning och för det tredje att förmedla de inhämtade resultaten i form av undervisning. Lärare och forskare vid Åbo Akademi kan studeras utgående från vad de har bidragit till av kreativt och framgångsrikt nytänkande inom olika vetenskaper. De kan också betraktas utgående från hur de har tagit till sig av det nytänkande som har fötts och slagit igenom annorstädes och hur de har fört det vidare till studerande och forskare. Dessutom kan forskare vid Åbo Akademi bedömas för hur de har axlat den viktiga och ytterst kitsliga rollen som värdiga motståndare till det nya.

I föreliggande kapitel hävdar vi för det första att de stora omvälvande förändringarna som ruskade om fysiken och matematiken egentligen var uttryck för samma stora epistemologiska brott. Det andra och huvudsakliga syftet med kapitlet är emellertid att undersöka hur omvälvningarna inom fysik och matematik har mottagits och hur de har påverkat undervisningen och forskningen vid Åbo Akademi. Studien fokuserar på tre professorer som under olika tidsperioder genom sin forskning och undervisning influerade sina respektive institutioner och som genom sin position representerade Åbo Akademi utåt. De undersökta är professorerna i fysik Karl Ferdinand Lindman (1874–1952) och Karl-Gustav Fogel (1921–1997) samt professorn i matematik Boris Sjöberg (1930–). Därtill studerar vi, som en följd av samma fenomen, framväxten av automatisk databehandling och datateknik med utgångspunkt i matematikämnet.

En undersökning av hur de här professorerna vid Åbo Akademi förhållit sig till stora vetenskapliga omvälvningar och deras följder representerar en ofta förbisedd aspekt av

universitetshistorien. Den berättar om hur vetenskapliga revolutioner hanterades vid ”vanliga” universitet som inte toppade rankinglistorna (om sådana hade funnits under den undersökta perioden). Därtill belyser den hur man vid finländska universitet förhöll sig till en ny revolutionerande teori under de första åren efter att den presenterades, liksom hur den hanterades i ett ”postrevolutionärt” skede då teorin blivit en del av normalvetenskapen. Kapitlet åskådliggör vidare genom exemplet mängdlära hur kunskap som utvecklas som resultat av en vetenskaplig revolution förmedlas genom den akademiska undervisningen via skolsystemet ut i samhället. Det visar också hur politiska skeenden påverkar vetenskapliga idéers spridning såväl positivt som negativt. Slutligen visas hur informationsteknologin, som växte fram ur de vetenskapliga revolutioner som behandlas här, avknoppades från matematiken till ett helt nytt ämne.

### **Vetenskapliga revolutioner, paradigmskiften och kontinuitet**

Innan fokus kan riktas in på Åbo Akademi och dess företrädare för fysik och matematik bör några ord ägnas åt de begrepp som är relevanta då man har att göra med vetenskapliga revolutioner i allmänhet och åt de specifika begrepp som är av betydelse för de revolutioner som skakade om fysiken och matematiken under årtiondena strax före och efter det år då Åbo Akademi grundades.

Medan vissa vetenskapssociologer och historiker har betonat vetenskapens kumulativa natur och kontinuitet har andra framhållit betydelsen av brott och diskontinuitet.<sup>8</sup> Vetenskapliga revolutioner har beskrivits på olika sätt. Enligt Bernard Cohens vardagliga beskrivning kan man tala om en vetenskaplig revolution om den i samtiden kallats så, om senare läroböcker gör det, om kompetenta historiker använder sig av benämningen och om vår nuvarande vetenskap gör det.<sup>9</sup> Thomas Kuhn har däremot beskrivit vetenskapliga revolutioner i termer av paradigmskiften som kännetecknas av diskontinuitet. Enligt Kuhns kända teori hamnar ett vetenskapligt paradigm i kris om det utsätts för tillräckligt många anomalier.<sup>10</sup> En revolution inom en vetenskap kan alltså beskrivas som ett slags stört undantagstillstånd, före och efter vilket vetenskapen befinner sig i ett normaltillstånd, då så gott som alla inom det akademiska ämnet i fråga fortsätter forskningen inom det allmänt accepterade paradigmet av teorier och arbetsmetoder genom att utöka och tillämpa kunskapen. Gaston Bachelard har å sin sida beskrivit vetenskapliga

omvälvningar såsom relativitetsteorin och kvantmekaniken i termer av vetenskapliga brytningspunkter.<sup>11</sup> Även Bachelards tolkning pekar på en diskontinuitet då nytänkande och omformuleringar krävs för att undvika misstag. Vetenskapliga revolutioner är också kunskapsteoretiska revolutioner i och med att de alltid innebär att grundläggande vetenskapliga begrepp och uppfattningar revideras och ofta så att världsbilden, livssynen och uppfattningen om människans roll i världen och kulturen förändras på ett avgörande sätt. Det är alltså viktigt att skilja vetenskapliga revolutioner från snabb utveckling inom en vetenskap liksom från tekniska innovationer och empiriska upptäckter.

Alla ovan nämnda definitioner torde uppfylla villkoren när det gäller de begreppsliga omvälvningar som inträffade i fysiken och matematiken kring sekelskiftet 1900.<sup>12</sup> Exempel på vetenskapliga revolutioner är Kopernikus heliocentriska världsbild, Newtons mekanik och gravitationsteori, Einsteins speciella och allmänna relativitetsteori samt kvantmekaniken. De tre senaste gav fysiken nya grundvalar. Enligt vår uppfattning bör även skapandet av de nya grundvalarna för matematiken (formallogiken och mängdläran) räknas som en vetenskaplig revolution.

### **Omvälvningarna som gav oss den moderna fysiken och matematiken**

Einstein gjorde sin revolution inom fysiken med den speciella relativitetsteorin 1905 och den allmänna 1916. Ett annat av hans arbeten från 1905 rörande den fotoelektriska effekten visade sig snart vara ett avgörande steg i skapandet av kvantfysiken. Under dessa två årtionden bidrog också andra fysiker såsom Max Planck och Niels Bohr till kvantfysiken på ett avgörande sätt. I denna mångfacetterade revolution ersatte den så kallade moderna fysiken den klassiska newtonska fysiken som en grundläggande teori för den yttre verkligheten. Likväl kunde man fortfarande med framgång använda klassisk fysik (och det kommer man också alltid att göra) rörande fenomen i det ”vardagsnära” mellanskiktet mellan de områden där kvantfysiska eller relativistiska effekter kan förbises. I den moderna fysiken gjordes några grundläggande begreppsliga revideringar av den newtonska fysiken. Revideringarna är av begreppsanalytisk natur och faller därför egentligen inom filosofin snarare än inom ”normal” fysik.<sup>13</sup>

Det är ganska lätt att beskriva det från begreppslig synpunkt väsentligaste i övergångarna från den antika mekaniken över den galiliei-newtonska mekaniken till den mekanik som Einsteins allmänna relativitetsteori bestämmer. Det hela rör sig om två viktiga begrepp: (i) den mekanistiska abstraktionen av verkligheten och (ii) paret jämvikt – störning av jämvikt.

Den mekanistiska abstraktionen innebär att man endast fäster sig vid de existerande föremåls mängd av materia (massa) och var de finns i rummet vid varje tidpunkt. Alla andra egenskaper abstraherar man från eller försöker beskriva i mekanistiska termer, exempelvis ljus och färger med ljuspartiklar, fotoner, och också energi i alla former.

Begreppet jämvikt är grundläggande för beskrivning och förklaring av de förändringar som man inte kan abstrahera från då det gäller verkligheten till skillnad från till exempel konstruerade platonska idé- och begreppsvärldar. Det som rubbar ett jämviktstillstånd kallar man kraft eller störning och störningen härrör alltid från något utanför det föremål vars jämvikt har rubbats.

Den mekanistiska abstraktionen och begreppet jämvikt hör till de mest framgångsrika idéer som man kan finna i mänsklighetens intellektuella historia. Bägge har tagits över från filosofer i antikens Grekland, vilka i sin tur antagligen hade lyckats extrahera dem från vardagliga erfarenheter. Någon slogs väl av insikten att man med samma våg vägde helt olika slag av föremål. Man vägde alltså något som alla föremålen hade, deras mängd av materia, och utnyttjade härvid dessutom jämvikt.<sup>14</sup>

Under antiken valde man orörlighet som det mekaniska jämviktstillståndet. Allmänt ansågs harmoni, också harmonisk och ”naturlig” utveckling, utmärka jämvikt. Rörelse och annan rubbning av jämvikt åstadkoms av krafter som härrör från naturen och gudavärlden, från människors och gudars handlingar och passioner.

Under renässansen mot slutet av 1500-talet fann Galileo Galilei goda skäl att låta likformig rörelse (rätlinjig med konstant hastighet inklusive orörlighet med farten noll) utgöra jämviktstillståndet inom mekaniken. Isaac Newton kunde cirka 100 år senare visa hur mycket man faktiskt kunde åstadkomma med den revideringen av den antika mekaniken. En väsentlig

förutsättning för att kunna visa det var dock att han skapade en differential- och integralkalkyl för behandling av kontinuerlig rörelse under krafters påverkan. Sedan fortsatte framgångarna med Newtons mekanik i över 200 år tills forskare började stöta på problem i det allra minsta och det allra största.

Det var anmärkningsvärt att jämviktstillståndet i mekaniken inte kunde observeras någonstans i det allra största, i universum, vilket ju borde vara fallet åtminstone approximativt. Överallt såg man bara hur kroppar rörde sig kring varandra, även de allra största. Därför tyckte Einstein att fritt fall, det vill säga rörelse under inverkan av bara gravitation, kunde vara ett naturligare val av jämviktstillstånd i mekaniken. Einstein lade fram en sådan hypotes redan 1907, men utarbetandet av en matematisk form för hypotesen tog honom åtta år, eftersom det krävde insikter i riemannsk geometri och tensorskalkyl, (en generalisering av matrisräkning), vilka ingalunda var matematiskt allmängods på den tiden.<sup>15</sup> Resultatet var den allmänna relativitetsteorin, en teori där gravitation inte längre var någon kraft utan något som bestämde vad jämvikt (och så kallad inertial- eller tröghetsrörelse) var inom mekaniken.

Också då det gäller den speciella relativitetsteorin och kvantfysiken kan man ta avstamp i antiken. Dessa två tar på nytt upp specifika begreppsliga svårigheter med den kontinuerliga rörelsen som man redan under antiken hade stött på. Många av Zenons paradoxer, också den med Akilles och sköldpaddan, belyser just dessa svårigheter.<sup>16</sup>

Både den speciella relativitetsteorin och kvantfysiken reviderar det sätt på vilket matematiken med differential- och integralkalkyl används för att beskriva verkligheten i Newtons mekanik. Begränsningar rörande det oändligt stora och det oändligt lilla aktualiseras nämligen för de nya teorierna på ett sätt som inte går ihop med Newtons fysik. Det visade sig finnas en övre gräns för hur stora hastigheter som kan finnas liksom det visade sig finnas en undre gräns för hur precis en kropps (tyngdpunkts) position och hastighet kan bestämmas. Det uppstår paradoxer med tidsresor och med fysikaliska fenomen som ömsom är utspridda vågor och ömsom lokaliserade kroppar. Antikens problem med oändlighet och kontinuitet hade alltså återuppstått efter att de under 200 år tycktes ha funnit sin slutgiltiga lösning med hjälp av Newtons klassiska differential- och integralkalkyl och det bruk man gjorde av dem i klassisk newtonsk fysik.



Samma svårigheter hade återuppstått också inom matematiken redan ett par decennier tidigare. Den newtonska geometriska gestaltningen av oändligheten kolliderade med det algebraiska och formellt logiska formallogiska sättet att manipulera matematiska uttryck och med de abstraktare matematiska strukturer som matematiker långt efter Newton hade skapat. David Hilbert, den kanske mest framstående matematikern under den tiden, publicerade så sent som 1925 artikeln *Über das Unendliche* där oändlighetsbegreppet lyfts fram som stötestenen inom matematiken, åtminstone för den matematik som fanns innan Georg Cantor utvecklade mängdläran för att precisera begreppet oändlighet.<sup>17</sup> Vid det här laget hade de nya grundvalarna för matematiken funnit sina platser i bygget. Bevisen skulle kunna utföras formellt (mekaniskt) åtminstone i princip och alla strukturer skulle kunna behandlas inom mängdläran, åtminstone i princip. I praktiken kunde de flesta matematikerna emellertid arbeta på som förut. År 1930 bevisade Kurt Gödel att detta bygge var otillräckligt för att hantera hela matematiken och att det dessutom var omöjligt att bevisa att bygget faktiskt höll ihop och inte innehöll motsägelser. Dessa ”negativa” resultat har man sedan dess fått lov att acceptera och leva med, som ett slags insikter om våra begrepps otillräcklighet då det gäller att vinna fullständig kunskap om många strukturer och teorier i matematiken.

Således innebar revolutionerna inom matematik och fysik i början av 1900-talet också att det hade kommit in element av osäkerhet eller obestämdhet som inte hade funnits, eller som man inte hade varit medveten om, under den föregående, så kallade klassiska perioden.

### **Fysiken vid Åbo Akademi och Karl Lindman**

Vid tiden för de här diskuterade vetenskapliga omvälvningarna erbjöds fysik på akademisk nivå i Finland vid Helsingfors universitet, vid Tekniska högskolan (tidigare Polytekniska institutet) och från och med 1918 vid Åbo Akademi. Från och med 1922 erbjöds undervisning i fysik även vid Åbo universitet. Institutionerna var små och antalet akademiska fysiker i Finland ringa. De flesta fysiker i Finland före andra världskriget var experimentalfysiker snarare än teoretiker.

Experimentell fysik är fysik som utövas genom att göra observationer av fysikaliska storheter medan teoretisk fysik använder sig av avancerad matematik för att beskriva fysikaliska fenomen. Experimentell fysik och teoretisk fysik var länge en och samma disciplin men från och med 1900-talet har en specialisering skett och de flesta fysiker har börjat ägna sig åt någondera av de två. Indelningen i praktisk och teoretisk fysik blev slutgiltigt befast i och med att lärostolar i praktisk fysik började inrättas vid universiteten. Helsingfors universitet fick en andra professur i fysik, nämligen experimentell fysik, redan år 1895.<sup>18</sup> Vid Åbo Akademi var det professorn i fysik Karl-Gustav Fogel som förespråkade en sådan indelning och en andra professur i fysik, företrädesvis i experimentell fysik, inrättades år 1962.<sup>19</sup>

Fysik och matematik hörde till de ämnen som var företrädare vid Åbo Akademi vid dess tillkomst genom att en av de tre stamfakulteterna var den matematisk-naturvetenskapliga. De första professorerna i ämnena – Karl Lindman i fysik och Severin Johansson i matematik – är framträdande personer i Åbo Akademis historia, eftersom de i egenskap av rektor och prorektor hade stor betydelse såväl för Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten som för Åbo Akademi. Karl Lindman inte bara verkade som professor fram till 1942 utan skötte under flera år på 1920-talet, samtidigt med lärostolen, även assistenturen i fysik. Utöver detta fungerade han som dekanus för Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten från 1918 till 1942 och tjänstgjorde som prorektor under perioden 1921–1929. Därutöver var Lindman en produktiv forskare som flitigt publicerade sina resultat i bland annat *Acta Academiae Aboensis*. Hans forskning fokuserade främst på elektromagnetism och våglära och den har senare beskrivits som banbrytande när det gäller existensen av stående elektromagnetiska vågor.<sup>20</sup> Lindman är känd för att som den första ha påvisat hur elektromagnetiska vågor påverkas av så kallade kirala ämnen.<sup>21</sup> Han var också under sin tid berömd för en upptäckt som möjliggjorde en metod att dölja flygande farkoster för radar. Till yttermera visso var Lindman en flitig författare som gav ut läroböcker i astronomi, fysik och kemi varav många även översattes till finska.

Lindman kan karaktäriseras som en experimentell fysiker. Detta är av intresse i en diskussion om Lindmans inställning till relativitetsteorin eftersom teorin långt baserade sig på mycket avancerade matematiska uträkningar och var teoretisk till sin natur.<sup>22</sup> Fysiker med stark experimentell orientering förhöll sig skeptiska till den i många tycke abstrakta relativitetsteorin

eftersom de ansåg att den inte hade verifierats experimentellt med tillräcklig säkerhet. Teorin baserade sig på matematiska modeller, som, även om de kunde skildra fenomen i naturen, var kontraintuitiva i sin beskrivning av dem. Det var denna hållning som motiverade Nobelkommitténs beslut att under många år låta bli att tilldela Einstein Nobelpriset i fysik för relativitetsteorin; då Einstein slutligen fick priset 1921 var det inte för relativitetsteorin, utan för sin upptäckt av den fotoelektriska effekten.<sup>23</sup> Lindman visar sin kritiska hållning till relativitetsteorins ”matematisering” av fysiken i en artikel om relativitetsteorin i tidskriften *Teknikern*, med en anspelning på Platon: ”För varje icke-matematiker är tillträde förbjudet.”<sup>24</sup>

Karl Ferdinand Lindman var född i Ekenäs 1874 och studerade vid Helsingfors universitet där han avlade sin kandidatexamen år 1895 och licentiatexamen 1901. Han vistades under åren 1898–1901 i Jena och framför allt Leipzig där han studerade elektromagnetik under professor Otto Wieners ledning. Dennes arbete kom att utgöra en viktig influens i Lindmans forskargärning. Lindman arbetade som gymnasielärare i fysik och kemi under åren 1903–1918 och kom att hysa ett livligt intresse för pedagogik under hela sitt liv – han gjorde en resa till Storbritannien år 1907 för att bekanta sig med den naturvetenskapliga undervisningen i engelska skolor och vid engelska universitet. Även i pedagogiska sammanhang förespråkade han användandet av experiment och demonstrationer i stället för matematiska teorier. En av Lindmans vetenskapliga förebilder var den engelska experimental fysikern Lord Kelvin som han betraktade som en av samtidens största fysiker. Lindmans vetenskapliga impulser kom dock främst från Tyskland och det tyska språket var för honom vetenskapens språk.<sup>25</sup>

Det är möjligt att Lindman hade kommit i kontakt med relativitetsteorierna via sina tyska kolleger och via tyskspråkiga tidskrifter. I Finland blev relativitetsteorin dock mera känd via den teoretiskt orienterade fysikern Gunnar Nordström (1881–1923) som var verksam vid Helsingfors universitet och Tekniska högskolan. Nordström var den första anhängaren i Finland av Einsteins speciella relativitetsteori och samma torde gälla den allmänna relativitetsteorin. Nordström, en av de fåtaliga fysiker i Finland som arbetade med problematiken kring gravitation, tid och rum, arbetade som lärare och docent i teoretisk fysik vid Helsingfors universitet under åren 1909–1918.<sup>26</sup> Han hade under ett årslångt besök vid universitet i Göttingen studerat elektrodynamik och fått åhöra föreläsningar av världens mest framstående fysiker och tagit intryck av den

europiska diskussionen. Nordström publicerade år 1909 en artikel med titeln 'Rum och tid enligt Einstein och Minkowski' i *Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar* och höll samma år ett föredrag om temat vid Fysiska föreningens möte i Helsingfors.<sup>27</sup> Enligt *Hufvudstadsbladets* referat diskuterade Nordström tidsbegreppets roll i fysiken som tidigare grundat sig på uppfattningen att två företeelser sker samtidigt på olika orter. Nu hävdade Nordström, i enlighet med Einsteins teori, att en sådan uppfattning ingalunda var given utan att "personer som befinna sig i rörelse i förhållande till hvarandra ha en olik föreställning om hvilka företeelser äro att anse som samtida, samt olika bedöma såväl längddimensioner som tider".<sup>28</sup> Nordström har kallats "Finlands Einstein" i och med att han utvecklade en gravitationsteori som var rivaliserande till Einsteins. Eva Isaksson har karakteriserat Nordströms teori, den så kallade skalarteori, som en föregångare till den allmänna relativitetsteori och viktig för Einstein i utvecklingsprocessen som ledde till hans allmänna relativitetsteori.<sup>29</sup> Nordström och Einstein träffades och korresponderade kring sina teorier och Nordström övergav slutligen sin teori till förmån för Einsteins år 1916. Trots att Nordströms vetenskapliga karriär blev kort på grund av hans tidiga död 1923 spelade han en viktig roll i spridandet av kunskap om relativitetsteori i Finland. Hans kurser och föreläsningar om ämnet inspirerade många forskare. Sitt sista föredrag höll han vid Fysiska föreningens möte vid Åbo Akademi 1922.

Fysikerkratsarna i Finland var små och det är mycket sannolikt att Lindman, om han inte åhörde Nordströms föredrag 1909, åtminstone läste artikeln som den var baserad på. Fysikersamfundet debatterade livligt den speciella och allmänna relativitetsteori under 1910-talet. Den speciella relativitetsteori måste ha varit bekant för Lindman åtminstone kring 1913, eftersom han var ordförande för Fysiska föreningen som även Nordström var aktiv i då han var i hemlandet.

Efter 1919 kunde ingen längre undgå Einsteins teori. Den allmänna relativitetsteori blev en världssensation efter att den brittiske astronomen Sir Arthur Eddington under solförmörkelsen den 29 maj år 1919 hade observerat att ljuset från stjärnor böjs av solens gravitation, något som bekräftade Einsteins teori. Eddingtons expedition lyckades under solförmörkelsen i Västafrika belägga att solstrålarna verkligen böjdes av med vinkeln 1,7 bågsekunder, precis som Einstein förutsagt. Eddingtons observationer redogjordes för i *London Times* den sjunde november 1919 under rubriken "Revolution in science – New theory of the Universe – Newtonian ideas

overthrown”.<sup>30</sup> Även *Helsingin Sanomat* publicerade senare samma år ett reportage med rubriken ”Newtonin lait kumottu?”<sup>31</sup> Reportaget berättar om professor Einsteins observationer som hade väckt enorm uppmärksamhet och förorsakat stor debatt i den engelska pressen.<sup>32</sup> Det var uppenbart att ingen fysiker längre kunde negligera relativitetsteorin.

Lindman tog tidvis ställning till relativitetsteorin i sina föredrag, ofta i kritiska ordalag. I januari 1922 höll han ett anförande med titeln ”Om absoluta hastigheter i världsetern enligt O. Wiener” vid Finska Vetenskaps-Societen.<sup>33</sup> Lindman påpekade i sitt föredrag att flera mycket ansedda fysiker förhöll sig kritiska till relativitetsteorin, till exempel nobelpristagarna Philipp Lenard och Johannes Stark. Därtill anslöt sig Lindman till Wieners åsikt enligt vilken relativitetsteorin kunde leda till kunskapsteoretisk relativism – uppfattningen att någon fysisk verklighet inte existerar oberoende av människan. År 1925 skriver han med ett något förnärligt tonläge till kollegan Hjalmar Tallqvist att det kändes som om moderna atomfysiker betraktades som genier medan de övriga betraktades som andra rangens fysiker.<sup>34</sup>

Etern var en kontroversiell fråga. Tanken om etern, enligt den äldre europeiska världsbilden det femte av elementen, har en lång historia. Etern betraktades länge som det element som omslöt hela jorden och alla andra element. Inom fysiken hade etern betraktats som det medium som möjliggjorde ljusets rörelse. Man tänkte sig att ljusvågor och elektromagnetiska vågor rörde sig i etern. Även om eterhypotesen hade motbevisats genom de så kallade Michelson-Morley-experimenten 1887 hade den fortfarande många anhängare på 1920-talet, Wiener och Lindman bland dem.<sup>35</sup> I likhet med många andra relativitetskritiker noterade Lindman också att Einstein varit inkonsekvent i sitt förhållande till etern.<sup>36</sup> Genom den speciella relativitetsteorin avskaffades etern men Einstein kom i själva verket senare att bli tveksam och ville inte absolut förneka existensen av eter. Tanken om etern fortsatte att leva kvar bland seriösa fysiker ännu in på 1930-talet.<sup>37</sup>

Två år efter sitt föredrag publicerade Lindman i tidskriften *Teknikern* en presentation av relativitetsteorin på basis av ett annat föredrag han hållit, den här gången på fysiklärarkurserna 1924.<sup>38</sup> Han skriver i inledningen att han upplevde att han var tvungen att redogöra för teorins grunder och de försök som gjorts för att pröva teorin. Lindman klargör i artikeln relativitetsteorin

på ett lättbegripligt sätt och förklarar också varför den inte kan bekräftas. Det bör noteras att Lindmans kritik i första hand riktade sig mot den allmänna relativitetsteorin. Det är sannolikt att han kunde acceptera den speciella relativitetsteorin, något som hans lärobok i mekanik från 1930 skulle antyda. Lindman beskriver här Lorentztransformationen,<sup>39</sup> jämför Lorentz och Einsteins resonemang och slutar med att notera att Einsteins teori är enklare och därför bör föredras.<sup>40</sup>

Lindman var ingalunda den ende vetenskapsmannen i Finland som förhöll sig kritisk till de nya teorierna. Många fysiker var ännu på 1920-talet tveksamma i sina formuleringar, till exempel Nordströms lärare Hjalmar Tallqvist, professor i fysik vid Helsingfors universitet, som ännu på 1920-talet uttalade sig försiktigt (men som senare kommenterade Einstein och relativitetsteorin i positiva ordalag).<sup>41</sup> Tallqvist noterar år 1924 i sitt minnestal över Nordström att "[s]kulle Lord Kelvin, den stora skaparen av fysikaliska teorier, som önskade hava hela fysiken byggd på en möjligast fast, mekanisk grund, kunna stiga upp från sin grav och se, huru det mesta inom den nyare fysiken befinner sig så att säga i flytande tillstånd, skulle han helt säkert rysa av fasa över huru vi sköta oss nu för tiden". Då vi minns att Kelvin var en av Lindmans förebilder är det inte svårt att förstå hans tveksamhet inför tanken att ge avkall på den fasta mekaniska grunden. Bland motståndarna kan noteras professorn i astronomi vid Helsingfors universitet Karl Frithiof Sundman och professorn i matematik vid Tekniska högskolan Hjalmar Mellin, den senare en hätsk motståndare till relativitetsteorin.<sup>42</sup> Inte bara naturvetare diskuterade frågan utan även filosofer var intresserade av Einsteins teori. Till exempel i Sverige förhöll sig de så kallade Uppsala-filosoferna kritiska till teorin. Att professorn i filosofi vid Åbo Akademi 1932–42, Rolf Lagerborg, åtminstone var intresserad av kritiken framgår av ett brev till Finlands främste relativitetsmotståndare Hjalmar Mellin, där Lagerborg bad om att få Mellins relativitetskritiska artiklar.<sup>43</sup> Det kan nämnas att Hjalmar Mellin var en av skribenterna i en tysk bok som teorins motståndare gav ut, *Hundert Autoren gegen Einstein* (1931).<sup>44</sup> Det förefaller dock osannolikt att Lagerborg skulle ha sällat sig till skaran av relativitetskritiker. Lagerborg var, liksom hans lärofader Edward Westermarck, en representant för just det slags etiska relativism som i den populära debatten ofta förknippades med samma slags nymodigheter som den moderna fysiken. Lagerborg citerar till och med i sin bok om Westermarcks senare verk en recensent som kallade Westermarck för "The Einstein of Ethics".<sup>45</sup>

Motstånd mot relativitetsteorin förekom i alla länder där den hade introducerats. Kritikerna kan enligt Carl-Olov Stawström indelas i skeptiker och direkta fiender.<sup>46</sup> Einsteins vän och kollega Philipp Frank har provokativt kallat en del av kritikerna för fantasilösa experimentellt orienterade fysiker.<sup>47</sup> Frank hade rätt i att många experimentalfysiker motsatte sig relativitetsteorin men det framstår som en smula orättvist att karaktärisera dem som fantasilösa. Den matematiskt krävande teorin förutsatte förvisso nytänkande men framför allt en teoretisk och matematisk syn på fysiken. Bland kritikerna fanns både forskare som opponerade sig mot mätningarna och tolkningarna av de experiment som låg som grund för teorin och sådana som helt enkelt inte begrep dem.<sup>48</sup> Frågan om samtidighet var, utöver frågan om eter, en orsak till motståndet. Att samtidighet inte längre kunde betraktas som absolut eller universell var en konsekvens av de så kallade Lorentztransformationerna som relativitetsteorin bygger på.<sup>49</sup> Enligt dessa gäller att om två händelser är samtidiga för en observatör, kan de inte vara samtidiga för en annan om dessa rör på sig i förhållande till varandra.

Även om många motståndare fokuserade på problemet med samtidighet och frågan om ljusets hastighet fanns det även andra vetenskapliga orsaker till att förhålla sig skeptiska till relativitetsteorin. Vissa vetenskapare menade att även om relativitetsteorin var logiskt konsistent kunde den inte ge någon fysisk förklaring till uttänjningen (dilationen) av tid och förkortningen av längd – den betraktade dessa effekter som matematiska konsekvenser av ljushastigheten i stället för mekaniska effekter som var resultat av klockors och mätapparaters inre dynamik.<sup>50</sup>

Också i Tyskland där forskare överlag varit snabba att anamma teorin var motståndet starkt. En av de mest framträdande Einstein-kritikerna var den tyske fysikern Ernst Gehrcke som bland annat gav ut en liten skrift med titeln *Die Massensuggestion der Relativitätstheorie* (1924). Gehrcke, som var forskare vid Physikalisch-Technische Reichsanstalt och professor vid Berlinuniversitetet, var en experimentellt orienterad fysiker och anhängare av eter teorin. År 1921 organiserade sig Gehrcke och andra relativitetskritiker i en sammanslutning som kallade sig ”Academy of Nations”. Sammanslutningens mål var att arbeta för en enhetsvetenskap och motverka utvecklingen mot det slags ökad specialisering och svårbegriplighet som den moderna vetenskapen med Einstein i spetsen enligt dem representerade.<sup>51</sup> Lindman och Gehrcke

korresponderade och i ett av breven uttrycker Gehrcke sin tacksamhet för Lindmans stöd, men det framgår inte om stödet gällde Gehrckes åsikt om relativitetsteorin.<sup>52</sup>

Lindman korresponderade på 1920-talet även med en svensk relativitetskritiker vid namn Sven Lothigius, en jurist och amatörfysiker som tillsammans med den svenske fysikern C. W. Oseen grundade föreningen Svenska fysikersamfundet år 1920 (de två blev senare osams på grund av Lothigius inställning till relativitetsteorin). Liksom Gehrcke odlade Lothigius tanken om en konspiration där teoretisk sinnade fysiker infiltrerat sig i den akademiska världen, för att inte tala om pressen, och till och med Nobelkommittén. Av brevväxlingen framgår också att den kände relativitetsmotståndaren Philipp Lenard skickat ett av Lindmans verk till Lothigius, något som tyder på att Lindmans arbeten var kända bland de tyska relativitetsmotståndarna.<sup>53</sup>

I ett radioföredrag år 1933 visar Lindman att han inte stod helt främmande till Gehrckes och Lothigius tankar om en konspiration. Han tar här upp frågan om en internationell propaganda som försökte pressa fysikerna att ägna sig åt kvantmekanik och relativitet, det vill säga modern fysik. På det hela taget tyckte de som förhöll sig skeptiska till relativitetsteorin att den fick orimligt mycket uppmärksamhet och att mängden publicitet Einstein fick var oskälig.<sup>54</sup> Lindman kritiserade i radioföredraget relativitetsteorin genom att belysa en av teorins konsekvenser. Den gjorde i princip striden mellan heliocentrismen och geocentrismen meningslös då ju ett referenssystem med jorden som orörlig vore lika riktigt som ett med solen i mitten. Trots detta, som han noterade, skulle ingen fysiker påstå att solen kretsar kring jorden. Oavsett sin här synnerligen kritiska attityd medger dock Lindman att relativitetsteorin lyckats förena fysikens olika områden bakom några grundprinciper på ett intressant sätt trots att den enligt hans åsikt inte gav någon begriplig bild av verkligheten.<sup>55</sup>

På 1930-talet hade relativitetsteorin ännu förhållandevis många motståndare men som sådan riskerade man att hamna i dåligt sällskap genom att motståndarna i Tyskland på 1930- och 1940-talen grupperade sig under rörelsen ”Arische Physik” eller ”Deutsche Physik”. Det senare namnet kom från Philipp Lenards år 1936 utgivna lärobok med samma namn. ”Deutsche Physik” företrädades av de ansedda fysikerna Leonard och Johannes Stark. Båda var Nobelpristagare – Lenard 1905 och Stark 1919. Den ariska eller tyska fysiken propagerade för en ”sund”,



experimentell vetenskap som observerade naturen utan vidlyftiga tankeskapelser. Den ”ariske fysikern” var av ”nordisk ras”, ärlig och flitig medan den ”judiska vetenskapen” sågs som osund i sin abstrakthet. Även Gehrcke var aktiv inom rörelsen. Rörelsen motsatte sig inte bara relativitetsteorin utan också kvantfysiken varför den kan betraktas som en motståndare till modern fysik.<sup>56</sup> I Finland var Hjalmar Mellin en anhängare till den ariska fysiken men det finns inga tecken på att Lindman skulle ha sympatiserat med de ”ariska fysikernas” politiska hållning.

Överhuvudtaget lindrades Lindmans kritiska hållning vid ingången till 1940-talet. I ett föredrag med titeln ’Om några av den moderna fysikens resultat’ från 1940 har tonläget blivit mera neutralt. Lindman redogör här för relativitetsteorin och dess resultat på ett objektivt sätt, även om han påpekar att teorin inte baserade sig på observationer av den fysiska verkligheten, vilket enligt hans uppfattning var det korrekta sättet att utöva fysik. Höstterminen 1949 höll han en föreläsningkurs om den speciella relativitetsteorin och även hösten 1952 stod relativitetsteori på programmet, denna gång med filosofie licentiat Karl-Gustav Fogel som lärare.<sup>57</sup>

Hur skall Lindmans till en början negativa inställning till relativitetsteorin tolkas? Det har i flera sammanhang framkommit att Einsteins relativitetsteori var svår och abstrakt. Många framstående fysiker fann det svårt att acceptera den av orsaker som presenterats ovan. Till och med en så ansedd forskare som den franske matematikern Henri Poincaré förhöll sig reserverad till relativitetsteorin, trots att han redan år 1900 hade ifrågasatt idén om universell samtidighet och i själva verket var först med att använda begreppet relativitet.<sup>58</sup> Det förefaller rimligt att anta att vetenskapsidkare velat ta sig tid för att förstå och smälta den krävande teorin. Det är alltså möjligt att förklara en försiktig hållning som vetenskaplig integritet, en ovilja att förklara sig som anhängare till en teori som man inte förstår i grunden. Det kan också finnas strategiska orsaker till motståndet. En forskare kan ibland göra klokt i att inte omedelbart acceptera en motstridig teori då man inte ännu är säker på utfallet. Kommer teorin att slå igenom på bred front eller förpassas den till marginalen? Vetenskapliga fält är i ständig rörelse och det är möjligt att forskare inte alltid vill riskera att marginalisera sig genom att alltför tidigt ansluta sig till en teoribildning som kan leda forskningen i en riktning som inte skulle följas av majoriteten. Som Westermarcks exempel i kapitel ett visar, kunde en ansedd forskare snabbt förskjutas från det

disciplinära fältets centrum. Samtidigt bör man komma ihåg att det är vetenskapliga kontroverser som skapar nya teorier och ny kunskap.

I Lindmans fall förefaller det som om hans motstånd i första hand handlat om försvar av hans egen uppfattning om fysik, där de empiriska bevisen och konsekvenserna av teorin var av största vikt. Det bör framhållas att en sådan syn i Lindmans fall ingalunda handlade om fantasilöshet som Francks kommentar om experimentella fysiker antydde. Enligt Hilding Slätis hade Lindman, utöver djupa kunskaper på alla fysikens områden, över sig något konstnärligt som tog sig uttryck i hans förmåga att med begränsad apparatur hitta lösningar för att få viktiga forskningsresultat.<sup>59</sup> Att vissa tyska vetenskapsmän med en liknande, det vill säga experimentell, syn på fysik kom att liera sig med en organisation som sympatiserade med de nationalsocialistiska idealen torde ha känts obekvämt för honom. Det är möjligt att Lindman, som avled 1952, aldrig kunde acceptera den allmänna relativitetsteorin eftersom bevis för den kunde presenteras först på 1960-talet då den allmänna relativitetsteorin blev allmänt godtagen.

Lindmans långa värv vid Åbo Akademi gör att han i mångt och mycket personifierade ämnet fysik vid Åbo Akademi. Ännu efter sin pensionering skötte han professuren genom årliga förordnanden fram till 1945 varefter han tog sig an lektorns uppgifter som tillförordnad. Detta föranleddes av en uppenbar brist på lämpliga lärare i fysik – flera av de kunniga personer som stod till buds lockades av tjänster i Sverige. Till exempel Hilding Slätis som förordnades till professor 1945 ansökte omedelbart efter sin tillsättning om tjänstledighet för att forska i Stockholm. I ett brev till Lindman uttrycker han förhoppningen att Lindman ”kunde ju sköta t.f. professuren under vårterminen i mitt ställe och även under höstterminen nästa läsår, om Akademien går med härpå. Gå det icke, så tror jag nog att Simons [från Helsingfors] skulle åtaga sig att resa av och an och hålla koncentrerade föreläsningar och anställa tentamina [...]”.<sup>60</sup> Ännu två år senare skriver Slätis till Lindman från Stockholm: ”[E]nklast vore det om Du h.o.h. skulle sköta professuren.”<sup>61</sup> Lindmans insatser behövdes fortfarande efter nästan 30 års tjänstgöring. Beträffande Slätis inställning till relativitetsteorin och kvantfysiken är det högst sannolikt att han, i sin orientering mot kärnfysiken, förhöll sig positiv till dem, i likhet med nästan alla fysiker på 1940-talet. Slätis beviljades sedan avsked 1948 för att inleda sin karriär vid Kungliga vetenskapsakademins forskningsinstitut för fysik i Stockholm.

Lindmans fall visar hur starkt en enskild professor satte sin prägel på ett ämne vid ett litet universitet. Hans egen forskning och hans syn på vad som tillhörde den korpus inom fysiken som undervisades kännetecknade fysikämnet under en lång tid. Exemplet visar att det slags antaganden om blodig konkurrens som präglar vetenskapshistoriska och sociologiska teorier såsom Bourdieus, som förekommer i kapitlet om Westermarck, inte har någon större förklaringskraft i sammanhanget. Orsaken står att finna i universitetets litenhet och svårigheten att rekrytera kompetent personal. Även om Åbo Akademi kan ses som en av institutionerna inom ett vetenskapligt fält där en viss typ av hierarki gäller för de vetenskapsidkare som är engagerade i fältet, var konkurrensen om tjänsterna i ämnet fysik obefintlig. Och även om det inom det vetenskapliga fältet rådde strider om vad som var god vetenskap, kunde man inte i det här fallet tänka sig att de som representerade en otidsenlig position skulle frysas ut eller förlora sin position. Bristen på kompetenta disputerade fysiker som var villiga att verka som professorer vid ett litet resursfattigt universitet gjorde att någon kamp inte fördes mellan rivaliserande forskare inom ämnet. Tjänstestrukturen vid en institution vid Åbo Akademi innebar i bästa fall en professor, en lektor och en assistent. Vi vet att Lindman tidvis även skötte assistenturen och lektoratet vid sidan av professuren. Kampen vid Åbo Akademi under de första årtiondena handlade om att överleva och om att få kompetent personal. En internationellt känd, kunnig och mångsidig fysiker som Lindman var uppskattad, oberoende av det paradig han representerade.

### **Kvantfysiken och dess tillämpningar: Karl-Gustav Fogel**

I slutet av 1960-talet hade relativitetsteorin slagit igenom på bred front. Rektor Karl-Gustav Fogel, professor i fysik från och med 1954, beskrev i sitt inskriptionstal år 1969 motståndet mot relativitetsteorin i 1930-talets Tyskland som ett exempel på försök att inskränka forskarens frihet att framlägga sanningen ”då den kan synas dem som makten haver obehaglig eller obekväm”.<sup>62</sup> Få personer betvivlade längre relativitetsteorins riktighet, och det fanns ingen förståelse för ”Deutsche Physik”. Även den andra stora grenen inom den moderna fysiken, kvantmekaniken, var allmänt accepterad. Vissa experimentellt lagda fysiker – delvis samma personer som hade svårt att acceptera relativitetsteorin – hade förhållit sig tveksamma till kvantmekaniken men efter andra världskriget hade denna slagit igenom, i likhet med relativitetsteorin.

Om relativitetsteorin revolutionerade sättet att se på tid och rum förändrade kvantmekaniken och kvantfysiken uppfattningen om materiens uppbyggnad genom att beskriva atomers och molekylers energinivåer. Fysikern Niels Bohr lade år 1913 fram sin modell för hur atomerna fungerar då de sänder ut och tar emot ljus. År 1900 hade Max Planck presenterat sin teori om svartkroppsstrålningen och något senare hade Ernst Rutherford lagt fram sin modell av atomen där atomen framstod som en laddad kärna omgiven av ett elektronmoln. Bohrs atommodell, där atomen beskrivs som ett miniatyrplanetsystem, kombinerar Plancks och Einsteins teorier och Rutherfords modell. I likhet med Einsteins relativitetsteori var utvecklingen av kvantfysiken ett uttryck för den moderna fysiken och framstegstron och likaledes epokgörande. Kvantfysiken rönt därmed inte bara stor uppmärksamhet inom det vetenskapliga samfundet utan kvantmekaniken och atomfysiken började också synas i den allmänna kulturdebatten.<sup>63</sup> Den stora publiken fascinerades av teorierna även om de inte fick på långt när lika stort utrymme i dagspressen som relativitetsteorin. Att de tre främsta utvecklarna av kvantfysiken, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger och Paul Dirac, fick emotta Nobelpriset 1933 bidrog också till intresset. Dessutom var kvantfysiken, liksom relativitetsteorin, en så viktig del av den moderna fysiken att ingen fysiker kunde förbise den.

Framför allt utnyttjandet av atomkraften hade inte varit möjligt utan kvantmekaniken. Kvantmekaniken, som beskriver hur materien och energin beter sig i mikrokosmos, är nödvändig för att beskriva energinivåerna hos atomer, metaller, molekyler och subatomära system. Atomforskningen tilldrog sig också uppmärksamhet, särskilt efter sprängningen av atombomberna i Hiroshima och Nagasaki 1945. Trots fasan över insikten om att människan med hjälp av de nya förstörelsevapnen, en följd och tillämpning av den moderna fysiken, kunde förgöra sig själv präglades efterkrigstiden av optimism över de teknologiska framstegen. Kärnfysikalisk forskning bedrevs i Finland redan på 1930-talet, främst under ledning av Jarl Wasastjerna, professor i tillämpad fysik vid Helsingfors universitet 1925–46. Undervisning i ”kvantteori” gavs i Helsingfors redan läsåret 1917–1918 av Hjalmar Tallqvist och atomfysik fanns på programmet i början av 1920-talet. Vid Åbo Akademi undervisades kvantfysik inte på 1920- och 1930-talen.

Karl Lindmans student Berndt Olof Grönblom kom att ägna sig åt kvantmekanik på högsta nivå. Efter utexamineringen från Åbo Akademi 1933 i en ålder av 19 år fortsatte Grönblom sina studier vid Helsingfors universitet och därefter i Rostock där han samarbetade med den framstående forskaren i kvantmekanik Pasqual Jordan och i Leipzig där han arbetade med Heisenberg som handledare.<sup>64</sup> Avhandlingen som Grönblom disputerade på vid Helsingfors universitet år 1937 handlade om atomkärnors struktur. Efter disputationen fick Grönblom en post vid Cornelluniversitetet och han besökte även Princeton där han bland annat träffade Einstein. Grönblom återvände till Finland strax före vinterkrigets utbrott för att försvara sitt land – tragiskt nog stupade han år 1941 vid 28 års ålder. Den av Rolf Lagerborg sammanställda minnesskriften innehåller en tjugo sidors artikel av Heisenberg där denne redogör för Grönbloms arbeten. Att det var Lagerborg, professor i filosofi vid Åbo Akademi, som skrev minnesskriften berodde på att den begåvade Grönblom hade studerat filosofi vid Åbo Akademi och imponerat sin professor med sin ”överlägsenhet i filosofiska övningar”. I samband med Grönbloms disputation skrev Lagerborg till sin student: ”Hade jag fått Akademiens unge Russell till filosof i stället! Då hade Du haft min professur våren 1941.”<sup>65</sup>

Jämfört med Helsingfors, för att inte tala om Rostock och Leipzig, kunde Åbo Akademi inte erbjuda det slags handledning och forskarmiljö i modern fysik som en forskare med Grönbloms intressen önskade sig. I slutet av 1940-talet och början av 1950-talet förändrades situationen. Hilding Slätis som var intresserad av kärnfysik förordnades till professor 1945. Även om Slätis vistades mera i Stockholm än i Åbo på grund av sin forskning vid Kungliga tekniska högskolan, är hans forskningsriktning ett tecken på att en förändring hade skett. Karl-Gustav Fogel å sin sida höll regelbundet kurser i kvantmekanik och kvantfysik från och med slutet av 1950-talet. Frank Borg berättar i en kolumn i tidskriften *Arkhimedes* om Fogels sista kurs i kvantfysik före pensioneringen. Fogel ”vankade omkring gestikulerande, och talade med djup emfas”. Var man uppnosig fick man lov att komma fram till tavlan och prestera ett bättre argument ifall man kunde.<sup>66</sup> Fogel verkar också ha kryddat sin undervisning med anekdoter om kretsen av fysiker som utvecklade kvantfysiken, till exempel om Heisenbergs försök att locka Bohr till Tyskland för att arbeta på det tyska atombombsprojektet. De två (!) deltagarna på kursen fick njuta av en familjär stämning och en miljö som ibland påminde mera om en diskussionsklubb än en

föreläsningssal.<sup>67</sup> Mårten Brenner kom sedan under sin tid som professor att hålla kursen Kvantfysik för både teoretiker och experimentalister.

Borgs exempel visar hur Åbo Akademis litenhet påverkade undervisningssituationerna och hur de personliga kontakterna mellan professor och student var nära. Med en personal som bestod av professor och lektor eller assistent, blev professorns forskningsintressen avgörande för ämnets utveckling. Liksom Lindman innehade Fogel lärostolen i många år – han beklädde professuren under åren 1954–1985 – och hann sätta sin prägel på institutionen. I Fogels fall innebar det en orientering mot kärnfysik. Riktningen stärktes då Mårten Brenner tillträdde professuren i experimentell fysik vid samma institution 1966. Enligt Juhani Kurkijärvi satte Fogel fart på institutionen, bland annat just genom att ta initiativ till den andra professuren i fysik.<sup>68</sup>

Karl-Gustav Fogel (1921–1997) var född i Munsala. Han tog studenten vid Vasa Svenska Lyceum 1940 och avlade filosofie kandidatexamen vid Helsingfors universitet 1946. Han blev intresserad av kärnfysik tack vare sin professor i Helsingfors Lennart Simons som var en av upphovsmännen till experimentell kärnfysik i Finland. Fogel tog filosofie licentiatexamen år 1949 och disputerade samma år även om han tog ut doktorsgraden först 1968 (strax innan han i egenskap av promotor för Åbo Akademis matematisk-naturvetenskapliga fakultet skulle promovera andra till doktorer). Temat för avhandlingen *On the Pseudoscalar Symmetrical Meson Theory of Nuclear Forces* (Helsingfors 1949) var den pseudoskalara symmetriska teorin för kärnkrafter. Ända sedan doktorsavhandlingen fokuserade Fogels forskning på fortsatta undersökningar av kärnkraftens egenskaper. Fogel använde sig av avancerad kvantmekanik och vågmekanik i alla sina arbeten. Fogels forskargärning handlade främst om kärnfysik och han publicerade, vid sidan av sina vetenskapliga publikationer, en del populärvetenskapliga artiklar om kärnfysik, dels för att han såg det som en akademisk forskares plikt att föra ut sina forskningsresultat till allmänheten, dels på grund av det intresse som temat väckte hos den läsande publiken.

Liksom de flesta andra fysiker vistades Fogel utomlands, bland annat i USA, Danmark, Frankrike och Tyskland. Från och med 1952 blev det möjligt för finländska forskare att vistas i Förenta staterna tack vare ASLA-Fulbright-stipendier. Fogel vistades vid Cornelluniversitetet

som *visiting fellow* åren 1957–1958. I ett brev till dåvarande rektor Sven Lindman berättar Fogel om sin vistelse där. Han beskriver hur han tillbringat hela hösten med att lära sig tunga atomkärnors fysik. Dessutom förklarar Fogel att han planerade att under sommaren besöka några amerikanska institut för att få kännedom om modern forskning om hyperfragment, det vill säga kortlivade partiklar med anomalt stor massa.<sup>69</sup> Fysiker hade under 1950-talet upptäckt dessa partiklar och undersökte deras egenskaper. Det är förståeligt att Fogel intresserade sig för ämnet eftersom det var en aktuell fråga inom partikelfysiken. Han hade till och med förhandlat sig fram till att han gratis skulle erhålla material för experimentell forskning om hyperfragment från två amerikanska institut. Fogel hörde sig nu för hos Sven Lindman om det vore möjligt för honom att söka ett stipendium för att stanna i Förenta staterna ännu över sommaren 1958 för skaffa materialet och delta i konferenser om partikel- och kärnfysik. Fogel hade planerat hyperfragmentforskningen helt med tanke på Åbo Akademi, för att berika fysikämnets teoretiska och experimentella forskning.<sup>70</sup>

Köpenhamn blev ett viktigt ställe för Fogel genom de nordiska ländernas gemensamma institut för teoretisk atomfysik NORDITA som grundades 1957 på initiativ av Nordiska rådet. Förutom NORDITA grundades även Nordiskt Kontaktorgan för Atomspørsmål (NKA) och en nordisk grupp för strålsäkerhet.<sup>71</sup> Tack vare sin placering i Köpenhamn kunde NORDITA ha ett nära samarbete med Niels Bohr-institutet. Institutet grundades 1921 av Bohr med syftet att befrämja forskning inom kvantmekanik och atomfysik. Fogel var en av de drivande krafterna bakom NORDITA, liksom också bakom det nationella forskningsinstitutet för teoretisk fysik vid Helsingfors universitet; han satt under ett antal år i båda institutionernas styrelse. NORDITAs betydelse för finländska studenter i fysik som intresserade sig för teoretisk fysik och särskilt kärn- och atomforskning kan inte överdrivas. De nordiska länderna delade på 20 forskarplatser och ett stipendiesystem möjliggjorde ett till två års vistelser för yngre forskare. Fogel skickade sina studenter till Köpenhamn i mån av möjlighet och stödde dem också i deras internationella förbindelser. En av Fogels doktorander, Nils Mustelin, tillbringade exempelvis ett år som ASLA-stipendiat vid Massachusetts Institute of Technology och forskade i några år vid NORDITA före sin disputation 1963.

Nils Mustelin var en av de få doktorander som Fogel handledde. Fogels student Ebbe Nyman avlade nämligen sin examen 1968 i Förenta staterna och Sven-Olof Bäckman 1969 vid NORDITA i Köpenhamn. Mustelins avhandling *On the Coupling of Angular Momenta in Diatomic Molecules, with Applications to the Magnetic Hyperfine Structure* (1963) är av intresse här eftersom den handlade om ett problem i kvantmekaniken. Man hade upptäckt att diatomiska molekylers energinivåer inte kunde beräknas med då existerande formler, och Mustelin gjorde en noggrann teoretisk genomgång av de effekter som påverkade energinivåerna.

Då Fogel tillträdde sin professur hade omvälvningarna som skakat fysiken 40 år tidigare avklingat. Man kan säga att Fogel representerade ett postrevolutionärt skede. Inget grubbel över grunderna och paradoxerna inom fysiken kvarstod, ingen tveksamhet gällande det korrekta sättet att bedriva fysik förelåg. En fas av normalvetenskap hade inträtt och det innebar utvecklande och förtydligande av paradigmet genom insamlande av data och en strävan att minska glappet mellan paradigmets hypotes och empiri.

Efter att en vetenskaplig teori har etablerat sig blir det också aktuellt med tillämpningar. Användningen av kvantteorin har haft djupgående konsekvenser för det moderna samhället. Till dessa hör bland annat laserteknik och halvledarteknik. En av de viktigaste tillämpningarna av kvantfysiken var kärnfysik. Kärnfysiken omgavs på 1940- och 1950-talen av ett hemlighetsfullt skimmer. Till exempel den kände amerikanske vetenskapsjournalisten David Dietz skriver i boken *Atomic Age* från 1945 att guld under atomåldern kommer att förlora sin betydelse eftersom vetenskapsmännen kommer att kunna tillverka guld industriellt.<sup>72</sup> Därmed skulle alkemisternas gamla dröm om att tillverka guld av icke ädla metaller som järn eller bly nu bli verklighet. Även om Fogel knappast delade denna optimism använder också han sig av associationen till alkemi då han liknar kärnfysiken vid ”modern alkemi”:

Ordet alkemist associerar hos de flesta människor fram bilden av en fantast, som instängd i ett lönnligt rum under ivriga besvärjelser blandar ihop diverse ämnen till en dekokt, vilken han under ytterligare besvärjelser och riter låter klarna, och i vilken han sedan med girighetens vansinne i blicken försöker spåra guld. Då man konstaterar, att alkemins strävan i en viss bemärkelse gått i arv till den moderna kärnfysiken, får man samtidigt



medge, att allt talet om atomhemligheter, atomspionage m.m. ger en ny upplaga av den ovanstående karikatyrbilden.<sup>73</sup>

Anspelningen på atomhemligheterna och atomspionaget hade att göra med hemligstämplandet av kärnforskningens resultat under kalla kriget. Faktum är att praktisk taget all publicering kring kärnforskning upphörde kring 1940 då de krigförande länderna missansamt bevakade forskningsresultat genom hemligstämplande.<sup>74</sup> Detta utgjorde en del av kapplöpningen om atombomben som USA sedan vann.<sup>75</sup> Under sådana förhållanden, menade Fogel, kunde döljandet av nya forskningsrön vara acceptabelt. I övrigt var han dock en anhängare av forskningens öppenhet. Han diskuterar i sitt inskriptionstal hösten 1969 forskarens grundläggande uppgift att låta andra bli delaktiga av hans (för Fogel var forskaren en man) resultat och menar att det var forskarens plikt att ”föra vårt vetande framåt och vidga vår kunskap”.<sup>76</sup> Detta slags öppna kommunikation blev igen möjligt efter kriget då flera års forskningsresultat offentliggjordes på en gång. Fogel uttrycker i sin artikel om kärnomvandling förhoppningen att den nya utvecklingen (den fredliga användningen av atomkraft) skulle bidra till att återställa den rubbade jämvikten i den nya vetenskapen.<sup>77</sup>

En viktig faktor som avgör vilket slags forskning ett universitet kan kosta på sig är tillgången till apparatur. Ännu år 1911 hade Ernest Ruhtherford utfört sitt berömda arbete inom partikelfysik, *The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of atoms*, med hjälp av två assistenter och apparatur som rymdes på ett skrivbord.<sup>78</sup> Experimentet gick ut på att beskjuta en guldfolie med alfapartiklar och visade att atomens massa var samlad till en mycket liten volym. En fysiker som Karl Lindman hade, med den apparatur som fanns tillgänglig, inte kunnat forska i atomer även om han velat. Han var tvungen att arbeta med enkla apparater, antingen i laboratorier eller i sitt hem och hänvisar i sina artiklar till ”samma apparatur som senast”.<sup>79</sup> Det berättas också att en av hans galvanometrar föll i golvet och gick sönder under vinterkriget då den fördes i skydd.<sup>80</sup> Det var högst troligt just denna resursbrist som fick Hilding Slätis att permanent söka sig till Kungliga tekniska högskolan i Stockholm. Efter kriget hade också den tekniska utvecklingen av apparaturen gått framåt och stora dyra maskiner blev nödvändiga inom den experimentella fysiken.<sup>81</sup> Efterkrigstidens intresse för kärnfysik, som krävde dyr utrustning och fokusering på allt storskaligare projekt i *Big Science*-anda med stora budgetar, stor personal

och stora maskiner, förutsatte betydande resurser eller ökat samarbete. Sådana samarbetsprojekt var det redan nämnda NORDITA och det samarbete som de västeuropeiska länderna inledde för att anlägga den stora partikelacceleratoren i CERN i Genève 1954 (Finland anslöt sig 1990). Som Fogel beskriver i en artikel med rubriken ”CERN’s högenergiaccelerator, varför den behövs och hur den fungerar” hade den mera komplicerade apparaturen att göra med upptäckten att nukleonen, liksom atomen och kärnan, kunde accelereras till höga energinivåer.<sup>82</sup> Genom acceleratoren, skriver Fogel, hade Europa vunnit en kapplöpning med amerikanare och ryssar.<sup>83</sup>

Partikelacceleratorer är nödvändiga för att kunna ”se” och forska i atomer. De fungerar så, att laddade partiklar accelereras till höga energier för experiment inom högenergifysik. Någon sådan apparatur fanns inte vid Åbo Akademi då Mårten Brenner tillträdde sin professur i experimentell fysik 1966. Tanken var då att fysiker skulle använda sig av acceleratorer vid andra universitet, till exempel cyklotroner vid Forskningsinstitutet för fysik i Stockholm. Vid samma tid planerades den nya byggnaden Gadolinia och då reserverades ett utrymme för en institution med accelerator, en plan som Brenner tagit initiativ till. Att en cyklotron skaffades från Sovjetunionen hade, förutom med Brenners aktivitet, också att göra med det bilaterala handelsutbytet mellan Finland och Sovjetunionen. Anskaffningen gjordes i samarbete med Åbo universitet och Sydvästra Finlands sjukhusdistrikt. I samma handelspaket ingick betatroner (acceleratorer) från Leningrad till Jyväskylä och Tammerfors – och ett stort lass ägg från Finland till Leningrad. En viktig orsak till att anskaffningen blev möjlig var att medel till den inräknades i regeringens tilläggsbudget som lades fram av C.O. Tallgren, finansminister i Ahti Karjalainens regering 1970–1971. Tallgrens förståelse för vikten av att främja akademisk forskning var troligen grundad i hans position som skattmästare för Stiftelsen för Åbo Akademi 1964–1973.<sup>84</sup> Cyklotronen transporterades till Åbo hösten 1973, installerades under det följande året och invigningen ägde rum i december 1974.<sup>85</sup> Nu låg acceleratoren ”djupt nere under Gadolinia, men ständigt i blickpunkten”, som broschyren *Åbo Akademi igår och idag* rapporterar.<sup>86</sup> Ett av de viktigaste resultaten var Åbo PET-center som senare utvecklades till ett nationellt forskningsinstitut. Denna tillämpning av kärnfysiken handlar om acceleratorbaserade tillämpningar som används inom medicinen, såsom PET-skanningar inom diagnosticering. Diagnosticeringen av patienter, till exempel för cancerdiagnoser, sker genom radiokemi. Trots att

avsikten med den första cyklotronen var att utnyttja den till 70 % för forskningsändamål och 30 % för vård av patienter är förhållandet numera jämnt mellan forskning och vård.<sup>87</sup>

### **Den moderna matematiken**

Professorn i matematik vid Åbo Akademi Boris Sjöberg noterar i sin lärobok *Från Euklides till Hilbert* (1998), att mängdläran har ”blivit något av den atmosfär, som 1900-talsmatematiken andas i, beroende på att mängdläran ligger till grund för de flesta matematiska strukturer”.<sup>88</sup> Mängdläran var ett av resultaten av en djupgående förändringsprocess som under förra hälften av 1900-talet skakade matematiken. Förändringen hade enligt Cohen revolutionära drag och kan enligt Frank Quinn beskrivas som en vetenskaplig revolution i samma bemärkelse som de omvälvningar som skakat fysiken.<sup>89</sup> Det faktum att matematiken kring sekelskiftet 1900 genomgick ett betydande paradigmskifte påverkade inte människors liv och tänkande på samma sätt som relativitetsteorin och kvantfysiken. Omvälvningen inom matematiken bidrog dock på ett avgörande sätt till utvecklingen av informationsteknologi, något som kommit att revolutionera tillvaron på ett sätt som ingen kunde drömma om i början av 1900-talet.

Den kris som drabbade matematiken kring sekelskiftet 1900 förorsakades av att det då använda oändlighetsbegreppet inte kunde hanteras med den exakthet som man var van vid inom matematiken. Motsägelser hotade uppstå, något som är fatalt inom ett logiskt uppbyggt ämne som matematik. Matematiker och filosofer såsom Gottlob Frege, Bertrand Russel, David Hilbert, Kurt Gödel och Alan Turing tog itu med bägge begreppen. Hänvisningar till äldre filosofer såsom René Descartes, David Hume och Immanuel Kant förekom under brytningsfasen på ett sätt som inte skett före eller efteråt. Efter en del försök och misstag förklarades exaktheten i termer av formalisering och formella manipulationer (som sedan kunde automatiseras) och oändligheten explikerades med hjälp av mängdläran med dess hierarki av olika oändligheter.<sup>90</sup> Bägge explikationer, där den förra gällde bevis och beräkning och den senare gällde strukturer och matematiska modeller, fick därefter utgöra matematikens nya grundvalar. Dessa uppfattningar har sedan 1920-talet accepterats av så gott som hela det matematiska samfundet och har således varit i kraft under den tid Åbo Akademi existerat. Till exempel tidens mest betydande matematiker David Hilbert var en entusiastisk anhängare av mängdläran. Han

konstaterade år 1910 att mängdläran hade en enastående roll i matematiken och utövade en kraftfull inverkan på alla grenar inom ämnet.<sup>91</sup>

Utanför matematikernas och de analytiska filosofernas kretsar berördes dock ingen av stridigheterna och själva omvälvningen nådde inte över nyhetströsklarna. Desto mera anmärkningsvärt är det därför att mängdläran under det kalla kriget på 1960-talet blev en stormaktspolitisk säkerhetsfråga som resulterade i en genomgripande reform av skolundervisningen i matematik från första klassen uppåt i så gott som hela västvärlden. På detta sätt kom mängdläran, under beteckningen ”den nya matematiken” att beröra hela befolkningen, såväl barn som föräldrar, under ett par decennier. Tanken bakom den nya matematiken var att minska klyftan mellan skolundervisningen och vetenskapen. En orsak var det ökade intresset för informationsbehandling och logik i Förenta staterna. Där den gamla matematiken handlat om mekaniskt räknande, innebar den nya matematiken logiskt tänkande. En bakgrundsfaktor var förutsägelsen att datorerna i framtiden skulle bli så betydelsefulla att logiken skulle komma att vara viktigare än räknandet. En annan orsak till att införa den nya matematiken i skolorna var Förenta staternas och hela västvärldens försök att knappa in på Sovjetunionens försprång inom teknik och tekniska vetenskaper och därför också inom matematik, vilket man ansåg att ryssarnas uppskjutande av Sputnik 1 år 1957 hade lagt i dager. Efter Sputnik-krisen stiftades en särskild lag i Förenta staterna som ökade finansieringen av sådan matematisk och naturvetenskaplig forskning som kunde gynna landets försvar och rymdforskning.<sup>92</sup>

Det var framför allt matematiker vid Stanford University och University of Illinois som förfäktade tanken att studenterna skulle ges förståelse i stället för att plugga tabeller. Avsikten var att de via mängdläran skulle få kunskap om de enklaste delarna av matematikens grunder. Även en grupp franska matematiker, de så kallade bourbakisterna, inspirerades av tanken att matematikundervisningen vid universiteten skulle teoretiseras. Inom gruppen, som kallade sig Nicolas Bourbaki, märks Claude Chevalley, André Weil, Henri Cartan och Jean Dieudonné, som konsekvent arbetade inom paradigmet för den moderna matematiken och som också ivrade för ett nytt slags matematikundervisning som grundade sig på mängdläran. I Tyskland hyste utvecklarna av det så kallade Erlangen-programmet liknande planer.<sup>93</sup> Om man skall ange ett datum för omdaning av matematikundervisningen i västvärlden kan konferensen New

Thinking in School Mathematics på slottet Royaumont utanför Paris i november 1959 betraktas som ett startskott. Amerikanska och europeiska forskare möttes för att debattera hur framtidens utbildning i matematik skulle se ut. Den tongivande bourbakisten Jean Dieudonné berättas ha utropat: ”Ned med Euklides!” Tanken var att den moderna matematiken skulle byggas upp med logiska begrepp utifrån abstrakta axiom i stället för den euklidiska geometrin som matematikundervisningen hade baserat sig på sedan antiken.<sup>94</sup>

I likhet med de flesta nya vetenskapliga idéer, uppstod den nya kunskapen vid vissa tongivande universitet och den cirkulerade småningom vidare till de provinsiella universiteten som låg längre borta från kunskapsproduktionens kärnområden. Sålunda påverkar universiteten, genom olika kanaler, kunskapen och förståelsen om utvecklingen inom de olika vetenskapliga disciplinerna ute i samhället. En viktig kanal är skolan och skolundervisningen. De utvecklingsförlopp och forskningsresultat som utmynnar i vetenskapligt nytänkande och omvälvningar når småningom skolvärlden i förenklad form eller genom användningen av nya begrepp. Universiteten kan således betraktas som en förmedlare mellan den ”stora vetenskapen” och de frågeställningar och problem som skolelever får möta i skolundervisningen. Den så kallade nya matematiken, som baserade sig på mängdteori, även kallad mängdlära, är ett exempel på en sådan utveckling. Även om mängdläran som sådan inte var ett särskilt populärt tema för forskning och lärdomsprov vid Åbo Akademi, har matematikerna genomgående sedan mitten av 1900-talet använt sig av begrepp ur mängdläran i och med att dessa ingått i de nya grundvalarna för hela ämnet. Då ämnet matematik vid Åbo Akademi, i synnerhet den teoretiska (icke-tillämpade) linjen, i rätt hög grad har ansvarat för utbildningen av matematiklärare, kom Åbo Akademi att spela en viktig roll i reformen av skolundervisningen i matematik på svenskt håll.

Den nya matematiken berörde egentligen inte det väsentliga med mängdläran, nämligen oändlighetsbegreppet. Därför innebar reformen att man införde nya verktyg som endast yrkesmatematiker behövde och då oftast i rätt intrikata sammanhang. Till den del mängdläran kom till användning i skolan framstod den som helt trivial och den abstraktion den var avsedd att bidra med uppfattades av elever och många lärare som ett sätt att uttrycka självklarheter på ett svårt sätt.

I Finland planerades den nya matematikundervisningen tillsammans med de övriga nordiska länderna inom ramen för Nordiska kommittén för modernisering av matematikundervisningen som grundades år 1960.<sup>95</sup> Enligt Paavo Malinen var den finländska insatsen i kommitténs rapport liten trots att den finländska gruppens ordförande Yrjö Juve var en respekterad expert på matematikundervisning.<sup>96</sup> Genom främst dansk påtryckning antogs bourbakisternas idéer om matematik som grund för planeringen. Enligt amerikansk modell kallades den reformerade matematiken för den nya matematiken. Reformen formaliserades i grundskolans läroplanskommittés betänkande 1970. Kommittén hade hunnit testa några undervisningstexter även i Finland, men man hann inte satsa mycket på utbildningen av lärare.<sup>97</sup> Eftersom reformen av matematikundervisningen sammanföll med införandet av grundskolan i Finland, vilket sysselsatte lärarna i hög grad, hade många matematiklärare varken tid eller ork att sätta sig in i de nya matematiska strukturerna.<sup>98</sup> Alla var inte heller entusiastiska över de nya vindarna i matematikundervisningen. Frågan diskuterades under den femte nordiska kongressen för lärare i matematik, fysik och kemi i Helsingfors 1963. Professor Rolf Nevanlinna var en av dem som anförde kritiska synpunkter på den nya matematikundervisningen:

Man står slagen av häpnad då man erfar att en del ivrare för en radikal reformering av skolundervisningen i matematik samlats kring stridsropet "Ned med Euklides!" Hur kan det vara möjligt att något till denna grad inskränkt kan lanseras, därtill från håll som utan tvivel förtjänar beröm för märkliga bidrag till den samtida matematiska vetenskapen?<sup>99</sup>

Motståndet mot den didaktiska reformen var stort i synnerhet bland föräldrar. Undervisningen av mängdlära i skolorna ledde till att de hade svårt att förstå den matematik deras barn undervisades. Därför ombads forskarstuderande i matematik vid Åbo Akademi hålla kurser i ny matematik inom folkbildande institutioner för att hjälpa föräldrar förstå skolmatematiken så att de i sin tur kunde hjälpa sina barn. Då reformen tidsmässigt sammanföll med den starkt politiserade ungdomsrevolten, kan man anta att införandet av den nya matematiken i skolundervisningen ytterligare fördjupade generationsklyftorna.

## Mellan grundforskning och lärarutbildning

Enligt Boris Sjöberg och Göran Högnäs utgör 1960-talet en vändpunkt i Matematiska institutionens historia.<sup>100</sup> Till detta bidrog statsunderstödet som möjliggjorde inrättandet av nya lärartjänster. Samtidigt upplevde ämnet matematik en expansiv fas med kraftigt ökade studentantal under 1960- och 1970-talen. Antalet utexaminerade kandidater under åren 1951–1960 var 17, under åren 1961–1970 hade de ökat till 59, medan siffran för åren 1971–1980 var hela 129.<sup>101</sup> Boris Sjöberg skötte professuren i teoretisk matematik från och med 1965 och utnämndes till dess ordinarie innehavare 1971 mitt i denna fas av snabb tillväxt. Även en ny professur i tillämpad matematik inrättades 1962 med Bertil Qvist som förste innehavare.

Boris Sjöberg föddes 1930 i Pjelas. Han avlade filosofie kandidatexamen 1955 och disputerade för doktorsgraden 1963. Från och med 1964 var han lektor i matematik vid Åbo Akademi och skötte professuren som tillförordnad från och med 1965. Sjöberg vistades vid flera tillfällen i Västtyskland och Schweiz, bland annat verkade han som assistent i matematik vid universitetet i Heidelberg 1957–58 och som assistent i kärnfysik vid universitetet i Bonn 1960–1961. Ett annat utlandsbesök som förtjänar att nämnas är vistelsen vid University of Michigan läsåret 1975-76 som möjliggjordes av ett forskningsstipendium. Doktorsavhandlingen, vars tema baserade sig på ett förslag från den äldre kollegan Rolf Nevanlinna, har titeln *Übertragung einiger Sätze aus der Theorie der meromorphen Funktionen endlicher Ordnung auf die Potentialtheorie* och behandlar potentialteori, en del av funktionsteorin (speciellt rörande så kallade harmoniska funktioner), ett område som han efter att ha blivit professor i Åbo tycks ha övergett till förmån för allmän topologi. Sjöberg och Nevanlinna umgicks mycket, framför allt under Sjöbergs forskningsvistelser i Zürich och Nevanlinna fungerade som opponent *ex officio* då Sjöberg disputerade för doktorsgraden.<sup>102</sup>

Sjöberg hade som professor ansvar för att blivande matematiklärare kände till mängdlära då reformen genomfördes i enlighet med Undervisningsministeriets planer på 1960- och 1970-talen. Redan i sin *lectio praecursoria* inför doktorsdisputationen kommenterade Sjöberg förändringarna som matematiken genomgått på 1900-talet. Han var synnerligen väl förtrogen med matematikens historia som han behandlar i läroboken *Från Euklides till Hilbert*. Sjöberg

fastställde att matematiken under tidigare århundraden baserat sig på direkt iakttagelse och fokuserat på konkreta problem. Däremot hade 1900-talsmatematiken allt mer börjat utgå från abstrakta termer och formella symboler.<sup>103</sup>

Den forskning som bedrevs på den teoretiska linjen koncentrerade sig under Sjöbergs tid på allmän topologi, en gren som kan ses som en naturlig utväxt av den moderna matematikens nya grundvalar, där man eftersträvar att algebraisk-logiskt behandla generaliseringar av begrepp som kontinuitet och gränsvärde. Dessa är centrala inom geometri och trigonometri och inom analytisk geometri med dess bruk av funktionskurvor i koordinatsystem, bekanta från skolmatematiken och använda i nästan alla tillämpningar av klassisk matematik.<sup>104</sup> Inom topologin kom de mest grundläggande frågorna inom den moderna matematiken i beröring med klassisk matematik.

Utan att direkt ivra för den nya skolpedagogiska idén byggde Sjöberg upp alla kurser på den teoretiska linjen vid Åbo Akademi på ett axiomatiskt sätt inom ramarna för mängdläran. Den nya matematiken beaktades särskilt i undervisningen på ämnesnivå och fördjupad nivå, medan grundstudierna inte påverkades i samma grad. Enligt Göran Högnäs berörde den nya matematiken inte i någon högre grad forskarstudier på 1970-talet.<sup>105</sup> I undervisningen infördes elementär logik och mängdlära i flera kurser. Det här svarade i första hand mot ett rent praktiskt behov att strömlinjeforma det matematiska språket och beteckningssättet. Genom att lära ut det moderniserade språket och beteckningssättet inledningsvis slapp man ta upp samma saker i början av flera olika kurser.<sup>106</sup> Därigenom var alla utexaminerade lärare under denna tid väl förtrogna med de begrepp och metoder som den nya matematiken införde i skolorna och hade således knappast några problem att använda dem i sin egen undervisning. Sjöberg, som i sin installationsföreläsning 1972 behandlar ”några tendenser i modern matematik”, diskuterar också den nya matematiken och bourbakisterna i slutet av sin föreläsning. Han börjar med en neutral beskrivning där han bedömer bourbakisternas framställning som alltigenom abstrakt och noterar deras sätt att gå från det allmänna till det speciella. Småningom blir tonen mer kritisk, till exempel då Sjöberg anmärker att det, i och med att ”allt byggs upp på rent formell bas utan någon som helst anknytning till åskådningen”, dröjde ganska länge innan till exempel vinkelbegreppet infördes. Till slut ifrågasätter han om utvecklingen varit till gagn för matematiken och konstaterar att ”man ibland har en känsla av att åtminstone vissa grenar av



matematiken har glidit väl långt bort ifrån den inspirationskälla som åskådningen i alla tider har utgjort”.<sup>107</sup> Det här kan tolkas som, om inte en direkt kritik, åtminstone som ett ifrågasättande av det bruk man inom didaktiken gjorde av den moderna matematikens principer.

Undervisningen i den nya matematiken gav inte de önskade resultaten. Överallt, såväl i USA som i Europa, visade det sig att ”den nya matematiken”, med undantag endast för några fåtaliga skolor för överbegåvade, inte hjälpte utan stjälpte.<sup>108</sup> Återgången till det gamla sågs som en lösning på de problem som den nya matematiken givit upphov till. Den kritik som Rolf Nevanlinna anfört bidrog också till återgången. Åren 1975–76 tillsatte Skolstyrelsen en kommitté som hade till uppgift att bestämma skolmatematikens innehåll. Härvid avskaffades en del av det som uppfattades som utmanande och tidskrävande. Även internationellt sågs reformen i efterhand som ett gigantiskt fiasko där man låtit yrkesmatematiker bestämma i pedagogiska frågor. Reformen avskrevs officiellt i Finland 1983 och efterföljdes av en ”pedagogernas revolt”. Betoningen har sedan dess legat på pedagogiska metoder och inte på ämnesmässiga frågor.<sup>109</sup> Följderna av krisen syntes under en längre tid än så i förändrade attityder till matematiken och dess utövare.<sup>110</sup>

Snart inträffade emellertid en vändning genom den begynnande datoriseringen i samhället. Åtminstone i början uppfattades denna som stammande från matematiken. Redan före decennieskiftet 1980 torde allmänheten dock ha börjat uppfatta konstruktionen av mjukvara för datorer som något annat än en matematisk verksamhet, och delvis med rätta, för arbetet inom datatekniken övergick allt mer till att göra bruk av redan utvecklad programvara på ett sätt som var mera ingenjörsmässigt än vetenskapligt.

### **Automatisk databehandling och datateknik**

Datavetenskap, datateknik och hela datoriseringen av vårt samhälle kan ses som en ytterligare följd av samma vetenskapliga revolution som skakade om matematiken och gav den dess nuvarande moderna grundvalar. Revolutionen berörde för datavetenskapens del huvudsakligen bara begreppen beräkning och logisk slutledning. Den kris som hotade matematiken under årtiondena kring 1900 gällde i hög grad just dessa begrepp. Under 1900-talets första årtionden

började matematiker och filosofer inse att beräkning och logisk slutledning bäst kunde göras explicita (exakta och absolut säkra) i följande bemärkelse: Man formaliserade språket för att utesluta olika tolkningsmöjligheter rörande logiska slutledningar och beräkningar. Därefter kunde dessa automatiseras och utföras av maskiner så att ingen intelligens, intuition eller förståelse behövdes, utan det räckte med att konsekvent och idogt tillämpa några förhållandevis få givna regler. Genom detta grepp med formalisering och automatisering visade det sig att matematikerna förmådde avvärja den kris som såg ut att förstöra matematiken så till vida att krisen hade hotat att splittrat matematiken i sinsemellan oförenliga delområden. Samtidigt öppnade undersökningarna och explikationerna av begreppen beräkning och logisk slutledning utsikter för att utveckla mer och mer avancerade räknemaskiner, kalkylatorer och efter hand datorer med program för olika ändamål. Elektrizitetsläran (och andra delar av fysiken) samt kemin gav teoretiska grunder och ramar för att elektrotekniskt förverkliga de teoretiskt påvisade möjligheterna att låta maskiner räkna och bevisa och hantera information. Ett enkelt och grundläggande exempel består i att den logiska distinktionen mellan sant och osant tekniskt hanteras med hjälp av distinktionen mellan att en strömkrets är öppen (strömförande) eller sluten (icke strömförande). Under 1970-talet började "datamaskinerna" vara så pass komplicerade att man började kräva teoretisk expertis också på själva maskinerna och de program som skapades. En ny akademisk disciplin bröt sig då ut ur matematiken, en disciplin som på engelska kallades "computer science" och som småningom på svenska fick namnet "datavetenskap". De rent tekniska aspekterna av datavetenskap hade överallt redan tidigt övergått till nya tekniska ämnen, *computer engineering* och *soft ware engineering*, vilka vid Åbo Akademi från och med 1999 kom att falla inom ämnet datateknik.

Den första generationen av forskare inom det nya akademiska området datavetenskap bestod av matematiker och av en ansevärd del filosofer. Logikens position inom det akademiska fältet blir härvidlag intressant.<sup>111</sup> Som akademiskt ämne var logiken ända till 1980-talet huvudsakligen företrädd som en del av filosofiämnet vid humanistiska fakulteter. Så var fallet också vid Åbo Akademi. Logiskt inriktade forskare innehade professuren i filosofi börjande med Erik Stenius från 1949 fram till mitten av 1960-talet då Stenius efterträddes av Krister Segerberg, som i egenskap av logiker verkade som professor i filosofi under hela 1970-talet, innan han lämnade Åbo Akademi för en internationell karriär. Från och med 1980-talet började logiken nästan

överallt i världen driva iväg från filosofin mot datavetenskapen direkt eller via matematiken. Samtidigt förflyttades fokus till frågeställningar som hade mest relevans just för datavetare. Detta allmänna mönster följdes också vid Åbo Akademi. Från mitten av 1980-talet bedrevs forskningen och undervisningen inom formell logik nästan uteslutande vid Institutionen för informationsbehandling (datavetenskap).

De första kurserna i databehandling i Åbo gavs våren 1960 då datamaskinen Wegematic 1000 hade donerats till Åbo-högskolorna av Wenner-Gren-Center. Vid samma tid började undervisning i databehandling ordnas vid handelshögskolan vid Åbo Akademi.<sup>112</sup> År 1967 anhöll Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten hos kansler att ämnet informationsbehandling skulle upptas som examensämne, och samma år kunde vitsordet approbatur i informationsbehandling avläggas vid fakulteten. Lärarna och examinatoreorna var matematiker. Filosofie licentiat Aimo Törn, matematiker till sin utbildning och senare biträdande professor i informationsteori och databehandling, hade haft möjligheten att förkovra sig i ämnet under en vistelse som ASLA-Fulbright-stipendiat vid Computer Science Department vid Stanford University. Törn hade haft undervisnings- och forskarbefattningar på den teoretiska linjen inom matematiken vid Åbo Akademi. Professor Karl-Gustav Fogel hade å sin sida varit aktiv i projektet att skaffa datorer till Åbo Akademi. Detta är knappast förvånande, eftersom man under hans tid allt mer började ha nytta av datorer i beräkningsmässigt tung fysik.

Det är intressant att notera att matematikens popularitet vid Åbo Akademi under den stora tillströmningen av studenter på 1970-talet ökade för att sedan minska från och med början av 1980-talet. Slutsatsen att orsaken var grundandet av ämnet informationsbehandling ligger nära till hands. Studenter som var intresserade av databehandling och som före grundandet av ämnet hade sökt sig till matematikstudier kunde nu i stället söka till ämnet informationsbehandling. För att utreda huruvida detta intresse för informationsbehandling kommer till uttryck inom matematikämnet, undersökte filosofie kandidat Jonas Lindblad matematikämnets avhandlingar *pro gradu* och diverse uppsatser från åren 1960 till 1999. Avhandlingarna och uppsatserna studerades genom att iaktta variabler som kunde indikera att de valda ämnena visar på en utveckling mot frågor som har relevans för datavetenskap och informationsteknologi (IT).<sup>113</sup> Man kan under åren 1970–1980 se en ökning av avhandlingar med IT-relevans med en topp år

1980 varefter trenden blir nedåtgående. Resultatet visar alltså på en svag trend: avhandlingarna med IT-anknytning blir något färre även då man tar i beaktande minskningen av studenter som sökte sig till ämnet matematik. Då informationsbehandling växer fram som ett eget ämne, minskar det relativa antalet examina i matematik fastän ökningen av antalet studenter vid Åbo Akademi ännu består.

Som exemplet ovan visar, fanns det en koppling mellan matematik och informationsbehandling. Matematik var ända till 2012 ett obligatoriskt biämne för studerande i datavetenskap, och studerande i datateknik hade samma matematikkurser som övriga ingenjörer, vilket inte var ovanligt på andra håll i världen heller. Men senare har informationsbehandling tagit över kurserna i de matematiska grunderna för IT. Enligt Ralph-Johan Back, professor i datavetenskap vid Åbo Akademi från och med 1983, var det nya ämnets förhållande till matematiska institutionen hela tiden gott, och kampen om fördelningen av resurser var hård och bitter snarare i förhållande till andra ämnen vid den matematisk-naturvetenskapliga fakulteten än till matematiken.<sup>114</sup> Ämnet informationsbehandling vid Åbo Akademi var från början mycket forskningsinriktat och det största problemet för institutionen var att få tillräckligt många studenter med stark bakgrund inom matematik. Svenskfinland visade sig vara för litet för att lösa problemet. Back löste det därför tio år efter sitt tillträde som professor genom att tillsammans med den matematiska och den datavetenskapliga institutionen vid Åbo universitet och Åbo handelshögskola 1994 starta en forskarskola, Turku Centre for Computer Science (TUCS), med internationell rekrytering av doktorander.

Backs egen forskning har rört frågor som ligger mycket nära den moderna matematikens grundvalar. Dess fokus har varit på att utveckla en formell bevisföring och en semantik för denna som är anpassad till programverifiering och programmering överlag. Forskningen vid ämnet informationsteknologi har också bidragit till matematikundervisningen i skolor. Kring år 2000 utnyttjade Back resultaten i grundforskningen inom forskningsprojekt som han skapade för att modernisera och datorisera matematikundervisningen i skolvärlden och vid universiteten på grundnivån. Moderniseringen gällde allt från hur elever och studerande skulle lösa uppgifter till författande av elektroniska och interaktiva skolböcker.<sup>115</sup>

De här didaktiska projekten bör ses mot bakgrunden av en ny kris inom matematikundervisningen som hade och har berört hela västvärlden och som i USA under 1990-talet och en tid framöver gick under namnet *the math wars*.<sup>116</sup> Olika idéer om matematikens didaktik hade debatterats i en situation där elevers och studenters kunskaper, färdigheter och intresse hade varit nedåtgående trots alla försök från myndigheters och pedagogers håll att vända trenden. Knappt någon i maktposition i västerländska samhällen ifrågasatte på den tiden tanken om att både stärkandet av samhällets konkurrenskraft och utvecklandet och utnyttjandet av ny teknik förutsatte allt fler människor med allt bättre matematiska färdigheter. Men de ekonomiska svårigheterna i Finland, och inom EU överlag, som myndigheterna försökt få bukt med bland annat genom relativ minskning av den statliga finansieringen av universiteten, antyder att politikerna sedan 1990-talet har tänkt om och gått in för att betjäna företagen mera direkt än tidigare. Trenden har varit att, där det går att göra, låta forskningsprojekt som finansieras av företag ersätta internt initierad forskning. Den tidigare vägledande idén om att matematiska färdigheter och teoretiska kunskaper på universitetsnivå är helt nödvändiga också för den ekonomiska utvecklingen har gradvis tunnats ut och fått ge vika för idéer om nödvändigheten av direkta yrkesinriktade utbildningar.

### **Revolutionerande kunskap i periferin**

Syftet med kapitlet har varit att undersöka hur de stora vetenskapliga revolutionerna inom fysiken och matematiken har påverkat undervisning och forskning inom några ämnen vid Åbo Akademi. Dessutom har avsikten varit att visa att omvälvningarna i fysiken och matematiken kan ses som uttryck för samma större kunskapsteoretiska brytningspunkt, och att framväxten av informationsteknologi är en av dess följder. En diskussion om mottagandet av nyheter som relativitetsteorin, kvantfysiken och moderna matematiken vid ett litet universitet som Åbo Akademi handlar till stor del om enskilda individers hållning. Professorerna Lindman, Fogel och Sjöberg mötte brytningspunkterna som föranleddes av den vetenskapliga revolutionen i dess olika faser. Vid Karl Lindmans tillträde som professor var relativitetsteorin ännu en ny och omtvistad teori. Lindman kunde inte som rigoröst empiriskt orienterad experimentalfysiker acceptera den allmänna relativitetsteorin som i så hög grad baserade sig på matematiska modeller. Hans kritiska inställning är lätt att förklara ännu på 1910- och 1920-talen då

relativitetsteorin var ny och många fysiker förhöll sig tveksamma till den komplicerade och abstrakta teorin. Under Lindmans första årtionde som professor visste ännu ingen hur kritiken mot relativitetsteorin skulle utfalla. Man kan tänka sig att en professor vid ett nytt universitet känner ett ansvar att upprätthålla sin vetenskapliga integritet och inte i en hast förklara sig som anhängare till något som kunde visa sig vara en passerande modefluga. På 1930-talen var Lindman dock på grund av sin skeptiska hållning i minoritet bland fysikerna i Finland. Lindman kan räknas som en av de forskare som kritiskt prövade relativitetsteorierna.

För Lindmans efterföljare Hilding Slätis och Karl-Gustav Fogel framstod den allmänna relativitetsteorin som en självklar beståndsdel av den moderna fysiken. Då Fogel tillträdde sin professur representerade inte heller kvantfysiken längre någon revolutionär lära utan var allmänt accepterad. Det kan därför sägas att Fogel mötte kvantmekaniken i ett postrevolutionärt skede där forskningen karaktäriserades av normalvetenskap. Fogels fokus på kärnfysik kan ses som en tillämpning av kvantfysiken.

Vid Boris Sjöbergs tillträde till professuren i matematik 1971 var också den moderna matematiken redan en självklarhet och inget var naturligare än att låta den framträda tydligt i undervisningen och forskningen. Sjöbergs forskningsinriktning, allmän topologi, representerade vid denna tid ett forskningsområde där de mest grundläggande frågorna inom den moderna matematiken kom i beröring med klassisk matematik. Via sin undervisning förmedlade han det slags matematisk kunskap som gymnasielärare i matematik behövde för att undervisa i den nya matematiken så länge läroplanen krävde det.

Framväxten av det nya ämnet och institutionen för informationsbehandling får här representera en slutpunkt för en utveckling som förutom fysiken och matematiken påverkat teknologin, vetenskapssynen och hela vår världsbild. Ur en snävare vetenskapshistorisk synvinkel illustrerar uppkomsten av ämnet informationsbehandling framväxten av en ny akademisk disciplin. Till skillnad från till exempel psykologin som uppstod ur ett annat ämne, nämligen filosofin, och ämnet biokemi, som uppstod som en kombination av två ämnen, var faktorerna som låg bakom informationsbehandling mera grundade i praktiska behov och ny teknologi. Bland akademiska discipliner som ligger bakom informationsteknologi – filosofi, lingvistik, informationsvetenskap

– torde matematiken dock vara den viktigaste. Undersökningen av utvecklingen vid Åbo Akademi visar att matematiken härvid har varit av fundamental betydelse, och att framväxten av det nya ämnet informationsbehandling nästan kan beskrivas som en utvidgning eller avknoppning av matematikämnet. Inom det akademiska fältet betydde utvecklingen att den gamla ärevördiga matematiken som universitetsämne fick ett av sina barn som sin hårdaste konkurrent också då det gällde pengar och studenter.

\*

Inget universitet i världen har kunnat göra sig oberoende av eller motstå de idéer som de här behandlade revolutionerna innebar. Likväl har olika lärosäten tagit emot det nya på olika sätt. Åbo Akademi hörde inte till en början till de mest framsynta universiteten när det gällde att anamma de nya teorierna inom fysiken. Till dessa hörde bara ett fåtal universitet i världen, lärosätena inom vilka revolutionärerna eller deras närmaste efterföljare verkade.

Ett universitet erbjuder den institutionella ramen som ger forskare en plats och ett visst mått tid och resurser för att ägna sig åt forskning. Mängden tid som professorer kan ägna åt forskning, samt kvaliteten på apparatur och andra resurser, inverkar på vilket slags forskningsresultat man kan förvänta sig. Samtidigt kan man se universiteten som förvaltare och vidareutvecklare av tidigare skapad kunskap. Därför har universitet, förutom uppgiften att skapa ny kunskap, också rollen att kritiskt granska den nya kunskapen. Detta medför att universiteten också måste axla uppgiften som motståndare till nya idéer, även i de fall då det inom dem kan verka personer med idéer som revolutionerar någon vetenskap eller vetenskapsgren. Ett motstånd grundat i kritisk granskning av hela forskningsprocessen som frambringt vetenskapliga resultat är av största vikt, för utan det skulle vetenskapen vara värnlös mot allehanda idéer som framsprungit ur politiska och ekonomiska intressen. Det hör till varje professors arbete att kritiskt granska nya forskningsrön och att förmedla dem genom undervisning. Här har Karl Lindman fått representera det kritiska prövandet av en ny teori och Karl-Gustav Fogel har exemplifierat tillämpningen av en redan accepterad teori, medan Sjöberg stått för förmedlingen av kunskap som utvecklas som resultat av en vetenskaplig revolution.

Åbo Akademis litenhet och dess knappa resurser kan ha begränsat den tid som professorerna kunde ägna åt forskning, men man kan inte säga att resursbristen skulle ha hindrat dem från att ta del av det senaste inom forskningen. De studerade professorerna hade alla internationella akademiska nätverk, de vistades utomlands, före kriget mest i Sverige, Tyskland och Schweiz och efter kriget i allt större utsträckning i Förenta staterna. Även om Åbo Akademi inte stod för de stora genombrotten, har universitetet sedan sin tillblivelse fungerat som länk i olika kunskapsnätverk och som förmedlare av kunskap. Även om dessa professorer inte initierade vetenskapliga revolutioner har de på ett värdefullt sätt både bidragit till vår gemensamma korpus av vetenskaplig kunskap och förmedlat sin kunskap till kolleger, studenter och till den bildade allmänheten.



---

<sup>1</sup> Hbl 31.12.1959.

<sup>2</sup> Om vetenskapliga revolutioner, se Thomas Kuhn, *The Structure of Scientific Revolution* (Chicago 1962); Gaston Bachelard, *The New Scientific Spirit* (Boston 1984); Bernhard Cohen, *Revolution in Science* (Cambridge, Massachusetts and London 1985); Chikara Sasaki, *History of the Structure of Scientific Revolutions* (Tokio 1985).

<sup>3</sup> Matematiken hade mot slutet av 1800-talet råkat ut för en grundvalskris, eftersom allmänt accepterade metoder och idéer gav upphov till protester och till och med direkta motsägelser. Man kom småningom fram till att problemen härrörde från att man inte hade tillräckligt väldefinierade begrepp för vad ett bevis inom matematiken egentligen var och inte heller för vad oändlighet egentligen betydde inom matematiken.

<sup>4</sup> Peter J. Bowler & Iwan Rhys Morus, *Making Modern Science* (Chicago 2005), s. 465, 468.

<sup>5</sup> Kuhn, *The Structure of Scientific Revolution*.

<sup>6</sup> Muntlig uppgift av professor Göran Högnäs 25.5 2015.

<sup>7</sup> Se till exempel Piia Einonen, Petri Karonen & Toivo Nygård (toim.), *Jyväskylän yliopiston historia*, volym 2, *Yliopisto 1966–2006* (Jyväskylä 2009); *Universitetet i Oslo 1–9* (Oslo 2011).

<sup>8</sup> Se till exempel George Sarton, *The Study of the History of Science* (Cambridge 1936); Karl Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (London 1959); Imre Lakatos & A. Musgrave (ed.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge 1970).

<sup>9</sup> Cohen *Revolution in Science*.

<sup>10</sup> Kuhn, *The Structure of Scientific Revolution*.

<sup>11</sup> Bachelard, *The New Scientific Spirit*.

<sup>12</sup> Två framställningar av Kuhns begrepp kan läsas i James A Marcum, *Thomas Kuhn's Revolution: An Historical Philosophy of Science* (London & New York 2005); William Devlin & Alisa Botlulich (eds.), *Kuhn's Structure of Scientific Revolutions – 50 years on* (Springer 2015).

<sup>13</sup> Jed Z. Buchwald & Robert Fox, *Oxford Handbook of the History of Physics* (Oxford 2013).

<sup>14</sup> Arkimedes är känd bland annat för att han lyckades utnyttja dessa allmänt kända fakta för att kunna formulera allmänna lagar för fenomenen i naturen.

<sup>15</sup> Riemannsk geometri har fått sitt namn efter Bernhard Riemann som utvecklade den på 1800-talet. Den är en generalisering av den plana ”vanliga” euklidiska geometrin för rummet, som lämpar sig väl för krökta ytor och rum. Den riemannska geometri som används i den allmänna relativitetsteorin behandlar rum och tid tillsammans, dock på ett sätt som gör bruk av den speciella relativitetsteorin.

<sup>16</sup> I kapplöpningen mellan Akilles och sköldpaddan får sköldpaddan ett litet försprång. Startskottet går och då Akilles har hunnit till den punkt från vilken sköldpaddan startade har den lyckats kravla sig ett litet stycke länge bort, och då Akilles snart når hit har sköldpaddan nått lite, lite längre igen. Efter oändliga gånger har Akilles inte nått fram till sköldpaddan, än mindre passerat den. Differential- och integralkalkylen ger begreppsliga möjligheter att konstruera ett gränsvärde av den oändliga följd av försök att nå sköldpaddan och passera den. Kvantteorin problematiserar på nytt denna möjlighet att i det oändliga finfördela den bana en fysikalisk kropp rör sig längs.

<sup>17</sup> David Hilbert, *Über das Unendliche* (Berlin 1925/1926).

<sup>18</sup> Tapio Markkanen, 'Fysikaaliset tieteet', Päiviö Tommila (toim.), *Suomen tieteen historia*, volym 3, *Luonnontieteet, lääketieteet ja tekniset tieteet* (Helsingfors 2000), s. 88.

<sup>19</sup> Mårten Brenner innehade professuren från dess grundande fram till 1991.

<sup>20</sup> Mårten Brenner, Sven-Olof Bäckman, Karl Gustav Fogel & Juhani Kurkijärvi, 'Fysik', *Åbo Akademi 1918–1993*, volym 4, *Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten. Kemisk-tekniska fakulteten* (Åbo 1993) s. 66.

<sup>21</sup> Ismo V. Lindell, Ari H. Sihvola & Juhani Kurkijärvi, 'Karl F. Lindman: The Last Hertzian, and a Harbinger of Electromagnetic Chirality', *IEE Antennas and Propagation Magazine* 34 (1992:3).

<sup>22</sup> Relativitetsteorin består av två delar, den allmänna och den speciella. Inom den vetenskapshistoriska forskningen talar man oftast om relativitetsteorin i singularis, vilket kan motiveras av att den speciella teorin som sådan (utan den allmänna) kan ses som teorin för det specialfall då rymden är tom på (graviterande) materia. Enligt den speciella relativitetsteorin, som Einstein publicerade 1905, är tid och rum inte är absoluta, utan tider och längder är beroende av rörelsen. Den allmänna relativitetsteorin hävdar att liksom rörelsen, påverkar även gravitationen tid och rum. Rum och tid förenades i Einsteins teori till rumtid som nu ersatte Isaac Newtons tanke om ett absolut rum och en absolut tid.

<sup>23</sup> Carl-Olov Stawström, *Synpunkter på hur svenska fysiker och filosofer uppfattat Einsteins relativitetsteorier* (Stockholm 1986).

<sup>24</sup> Lindman, 'Om relativitetsteorin och dess experimentella prövning', *Teknikern* 1405 (1924).

<sup>25</sup> Sven Lindman, 'Karl F. Lindman och naturvetenskapen', *Finsk Tidskrift* (1976:1), s. 26.

<sup>26</sup> Markkanen, 'Fysikaaliset tieteeet', Eva Isaksson: Gunnar Nordström, suomalainen Einstein: painovoiman teoriaa 1910-luvulla, <http://www.helsinki.fi/~eisakso/nordstrom/gunnar.html> (läst 17.3.2014); Eva Isaksson, Gunnar Nordström ja suhteellisuusteoria, *Helsingin yliopiston kirjaston tiedotuslehti* (2005:5).

<sup>27</sup> Gunnar Nordström, 'Rum och tid enligt Einstein och Minkowski' *Öfvers. av FVS Förh.* 52 (Helsingfors 1909).

<sup>28</sup> *Hbl* 29.10.1909.

<sup>29</sup> Isaksson, *Gunnar Nordström ja suhteellisuusteoria*.

<sup>30</sup> Revolution inom vetenskapen. Ny teori för universum. Newtons idéer har fallit.

<sup>31</sup> Newtons lagar upphävda?

<sup>32</sup> *Helsingin Sanomat* 25.11.1919.

<sup>33</sup> Karl Lindman, 'Om absoluta hastigheter i världsetern enligt O. Wiener', *Öfvers. av FVS Förh.* 64 (Helsingfors 1922).

<sup>34</sup> Karl F. Lindman till Hjalmar Tallqvist 23.3.1925 och 26.4 1925, ÅAB: HT.

<sup>35</sup> En serie experiment 1881–1887 som gjordes först av Albert Michelson, senare tillsammans med Edward Morley. Experimentets syfte var att visa på jordens rörelse i etern. Michelson-Morleys experiment kräver en såkallad michelsoninterferometer.

<sup>36</sup> Manuskript för del två av föredraget 'Om fysikens framsteg i början av 20:nde seklet', ÅAB:KFL.

<sup>37</sup> Stawström, *Synpunkter*, s. 5.

<sup>38</sup> Karl F. Lindman, *Teknikern*.

<sup>39</sup> Lorentztransformationerna är ekvationer inom relativitetsteorin som anger hur tids- och rumskoordinater mäts i olika inertialsystem. En konsekvens av Lorentztransformationerna är att begreppet samtidighet inte längre är universellt.

<sup>40</sup> Karl F. Lindman, *Yleisen mekaniikan perusteet: korkeakouluja ja itseopiskelua varten* (Jyväskylä 1930), s. 330–364. Se även Jonas Lindblad, *Matematik, fysik och politik? Relativitetsteorins reception i Finland 1905–1940*, kandidatavhandling i allmän historia, Humanistiska fakulteten, Åbo Akademi (2014).

<sup>41</sup> Hjalmar Tallqvist, 'Gunnar Nordström: minnesteckning föredragen vid Finska Vetenskaps-Societetens sammanträde den 22 september 1924'. Årsbok. *Societarum scientiarum fennica* 3 B 1, 1924; Hjalmar Tallqvist, *Fysikens renässans* (Helsingfors 1924), s. 39.

<sup>42</sup> Se till exempel Hjalmar Mellin, 'Das Lichtproblem', *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, Ser. A. T. 24 (Helsingfors 1925); Hjalmar Mellin, 'Einsteinin teorian mahdottomuus', *Esitelmät ja pöytäkirjat*, Suomalainen tiedeakatemia, 67–74; Hjalmar Mellin 1933, 'Die Widersprüche in der Relativitätstheorie', *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, T. 37 (Helsingfors 1933).

<sup>43</sup> Hjalmar Mellin till Rolf Lagerborg 1933, ÅAB: RL.

<sup>44</sup> Hans Israel, *Hundert Autoren gegen Einstein* (Leipzig 1931).

<sup>45</sup> Rolf Lagerborg, *Edward Westermarck och verken från hans verkstad under hans tolv sista år 1927–39* (Helsingfors 1951), s. 179.

<sup>46</sup> Stawström, *Synpunkter*, s. 5.

- <sup>47</sup> Philipp Frank, *Einstein: His Life and Times* (New York 1953), s. 270–271.
- <sup>48</sup> Stawström, *Synpunkter*, s. 5.
- <sup>49</sup> Lorentztransformationerna beskriver koordinattransformationer inom den speciella relativitetsteorin.
- <sup>50</sup> Thord Silverbark, *Fysikens historia. Diskussionen om Einstein, relativitetsteorin och kvantfysiken i Sverige 1910-1970* (Stockholm 1999), s. 40–41.
- <sup>51</sup> Milena Wazeck, *Einstein's Opponents: The Public Controversy about the Theory of Relativity in the 1920s* (Cambridge 2014).
- <sup>52</sup> E. Gehrcke till K.F. Lindman, ÅAB: KFL.
- <sup>53</sup> S. Lothgius till K.F. Lindman 6.11.1925. ÅAB: KFL.
- <sup>54</sup> Hjalmar Mellins föredrag 10.10 1931 i Frans Kotkanpää, *Einsteiniläisen maailmankäsityksen suuri illusio* (Vasa 1945), s. 101.
- <sup>55</sup> Manuskript för del två av föredraget Om fysikens framsteg i början av 20:nde seklet, ÅAB:KFL:
- <sup>56</sup> Wazeck, *Einstein's Opponents*.
- <sup>57</sup> Rektors årsredogörelse 1949-1950, *Årsskrift utgiven av Åbo Akademi 34-35* (1952), s. 232; Rektors årsredogörelse 1952-1953, *Årsskrift utgiven av Åbo Akademi 36-37* (1954), s. 316.
- <sup>58</sup> Hans C. Ohanian, *Einstein's Mistakes: the Human Failings of Genius* (New York 2008).
- <sup>59</sup> Hilding Slätis, 'Karl Lindman'. Minnestal, *Årsskrift utgiven av Åbo Akademi 1951-1953*, s. 183.
- <sup>60</sup> Hilding Slätis till Karl Lindman 2.8.1945. ÅAB: KFL.
- <sup>61</sup> Ibid.
- <sup>62</sup> Fogel, inskriptionstal 1969.
- <sup>63</sup> Silverbark, *Fysikens historia*.
- <sup>64</sup> Nils A, Törnqvist, 'Berndt Olof Grönblom, om blott han fått leva!', *Arkhimedes* (2004:6).
- <sup>65</sup> Rolf Lagerborg, *Berndt Olof Grönblom*, Minnesskrift utgiven av Åbo Akademi (Åbo 1943).
- <sup>66</sup> Frank Borg, 'Professor Karl-Gustav Fogels kvantkurs', *Arkhimedes* (1997:6).
- <sup>67</sup> Ibid.
- <sup>68</sup> Juhani Kurkijärvi, Minnestal hållet vid Finska Vetenskaps-Societetens sammanträde den 19 januari 1998.
- <sup>69</sup> Fogel till Lindman 5.1.1958, 23.1.1958, ÅAB: SL.
- <sup>70</sup> Fogel till Lindman 5.1.1958, 23.1.1958, ÅAB: SL.
- <sup>71</sup> Christoffer Cronström, *NORDITA 50 år – forskningsinstitutets uppkomst och betydelse, Fysikersamfundet i Finland, Reflexer* (2008:10), s. 42–44; Daniel Jåfs, *Introduktionen av kärnkraften i Finland* (Åbo 2009), s. 66.
- <sup>72</sup> David Dietz, *Atomic Energy* (New York 1945), finsk översättning *Atomienenergia – tulevaisuuden voima* (Helsinki 1946).
- <sup>73</sup> Karl-Gustav Fogel, 'Kärnomvandling', *Redox* (1954:7) s. 20–21.
- <sup>74</sup> Ibid.
- <sup>75</sup> Brenner et al., 'Fysik'.
- <sup>76</sup> Fogel, 'Forskare – högskolor – studenter', inskriptionstal publicerat, ÅU 11.9 1969.
- <sup>77</sup> Ibid.
- <sup>78</sup> Göran Jarlskog, 'Vad är Big Science?', s. 2. <http://www.hep.lu.se/staff/g.jarlskog/bigscience.html> (läst 2016).
- <sup>79</sup> Lindell et al, *Karl F. Lindman: The Last Hertzian*.
- <sup>80</sup> Ibid.
- <sup>81</sup> Brenner et al., 'Fysik', s. 70.
- <sup>82</sup> Jarlskog, 'Vad är Big Science?', s. 2.
- <sup>83</sup> Fogel var medlem av Statens naturvetenskapliga kommission och av dess CERN-kommitté. 'Rektors årsredogörelse 1967–68', *Årsskrift utgiven av Åbo Akademi 52* (1969), s. 165; Karl-Gustav Fogel, 'CERNs högenergiaccelerator', *Hbl* 28.2.1960.
- <sup>84</sup> Juhani Knuuti, Sven-Johan Heselius & Uno Wegelius, *Putting Turku on the Map. A history of the Turku PET centre* (Turku 2008), s. 3.
- <sup>85</sup> Knuuti et al., *Putting Turku on the Map. A history of the Turku PET centre* (Turku 2008), s. 3–4.

- <sup>86</sup> Åbo Akademi igår och idag (Åbo 1975).
- <sup>87</sup> 'Radioaktiv verksamhet', MfÅA 13.11.2013, <http://mfaa.abo.fi/?article=radioaktiv-verksamhet>.
- <sup>88</sup> Boris Sjöberg, *Från Euklides till Hilbert. Historien om matematikens utveckling under tvåtusen år* (Åbo 1998).
- <sup>89</sup> Cohen, *Revolution in Science*, s. 319–324; Frank Quinn, 'A Revolution in Mathematics? What Really Happened a Century Ago and Why It Matters Today', *Notices of the American Mathematical Society* (2012). Debatten kringt huruvida en revolution skett inom matematikvetenskapen kan studeras i Karen Francois & Jean Paul Van Bendegem, 'Revolutions in mathematics. More than thirty years after Crowe's "Ten Laws"'. A new interpretation, Benedict Löwe & Thomas Müller (eds.) *PhiMSAMP. Philosophy of Mathematics: Sociological Aspects and Mathematical Practice* (2010:11), s. 107–120.
- <sup>90</sup> Mängdläran kan å ena sidan ses som en generalisering av de naturliga talen 0, 1, 2, ... genom att fortsätta följderna in i det oändliga och därifrån vidare till oändligheters oändlighet, etc. Å andra sidan kan mängdläran ses som ett sätt att ersätta begrepp med deras extensioner, så att till exempel begreppet bok ersätts med mängden av alla böcker. Införandet av mängdläran innebär i bägge fallen ett försök att förenhetliga matematiken och inkorporera nya områden som tidigare hade uppfattats som liggande utanför matematiken.
- <sup>91</sup> Joseph Warren Dauben, *Georg Cantor: His Mathematics and Philosophy of the Infinite* (Princeton, New Jersey 1990); José Ferreiros, *Labyrinth of Thought: A History of Set Theory and Its Role in Modern Mathematics* (Basel, Bristol, Berlin 2007).
- <sup>92</sup> Jeremy Kilpatrick, 'The new math as an international phenomenon, ZDM Mathematics Education' (2012), s. 563; Mark W. Ellis, 'The Paradigm Shift in Mathematics Education: Explanations and Implications of Reforming Conceptions of Teaching and Learning' *The Mathematics Educator* 15 (2015:1), s. 9–10.
- <sup>93</sup> Vladimir K. Kisil, 'Erlangen Program at Large: An Overview', *Advances in Applied Analysis. Trends in Mathematics* (2012), s. 1–94.
- <sup>94</sup> Kilpatrick, *The new math*, s. 563–565.
- <sup>95</sup> Eero Seppä, *Joukko-opin rooli suomalaisessa koulumatematiikassa. Avhandling pro gradu*. Tammerfors universitet (2013), s. 21.
- <sup>96</sup> Paaavo Malinen, 'Miten matematiikan opetusopista tuli tiedettä'. Paper presented at the annual symposium of the Finnish Mathematics and Science Education Research Association in Helsinki, October 9–11, 2003, s. 4.
- <sup>97</sup> Malinen, Miten matematiikan opetusopista tuli tiedettä', s. 4.
- <sup>98</sup> Olavi Junnila, *Kuusi vuosikymmentä matemaattisten aineiden asialla* (Forssa 1995), s. 117–118.
- <sup>99</sup> Citerad i Geometry Teaching — Geometrieunterricht, Conference on the Teaching of Geometry in Helsinki 1-4.8. 1989, Erkki Pehkonen (ed.) *Research Report 74*, Department of Teacher Education, University of Helsinki (Helsinki 1989).
- <sup>100</sup> Boris Sjöberg och Göran Högnäs, Solveig Widén (red.), 'Matematik', *Åbo Akademi 1918–1993*, volym 4, *Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten. Kemisk-tekniska fakulteten* (Åbo 1993), s. 111.
- <sup>101</sup> Åbo Akademi 1918–1993, 120.
- <sup>102</sup> Ibid.
- <sup>103</sup> Akademi-ledamot opponent vid disputation på ÅA, Vbl 6.10. 1963.
- <sup>104</sup> Boris Sjöberg & Göran Högnäs, 'Matematik', s. 112–113.
- <sup>105</sup> Muntlig uppgift av Göran Högnäs 7.11.2016.
- <sup>106</sup> Muntlig uppgift av Göran Högnäs 7.11.2016.
- <sup>107</sup> Boris Sjöberg, Installationsföreläsningen 'Några tendenser i modern matematik', *Årsskift utgiven av Åbo Akademi* 56 (1973), s. 35–42
- <sup>108</sup> Kilpatrick, *The new math*, s. 568–569.
- <sup>109</sup> Seppä, *Joukko-opin rooli*, s. 20–22.
- <sup>110</sup> Tuomas Sorvali, 'Uuden matematiikan nousu ja tuho', *Dimensio* 68 (2004:3), s. 24–27.

---

<sup>111</sup> S.M. Ulan, 'von Neumann: The Interaction of Mathematics and Computing, Nicholas Metropolis et al.', *History of Computing in the Twentieth Century* (New York and London 1989)

<sup>112</sup> Aimo Törn, Early History of Computing in Turku, 1959–1964, <http://web.abo.fi/dc/admin/pdfrapporter/rapp41.pdf> (läst 9.9.2017); Aimo Törn, 'Informationsbehandling', Solveig Widén (red.) *Åbo Akademi 1918-1993*, volym 4, *Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten. Kemisk-tekniska fakulteten* (Åbo 1993), s. 99–100. Jaakko Suominen, Petri Paju & Aimo Törn, 'Varsinaissuomalainen linja Suomen tietoteknistymisen alkuvaiheissa 1959-1964', *Tekniikan Waiheita* 18 (2000:3), s. 24-46.

<sup>113</sup> Genomgången visar, inte oväntat, att samtidigt som antalet utexaminerade studenter och således avhandlingar *pro gradu* minskade under hela perioden, minskade också avhandlingarna med IT-anknytning.

<sup>114</sup> Samtal med Ralph-Johan Back 2.10.2015.

<sup>115</sup> Ralph-Johan Back & Joakim von Wright, *Doing high school mathematics carefully* (Turku 1997); Petri Sallasmaa, Linda Mannila, Mia Peltomäki, Tapio Salakoski, Petri Salmela & Ralph-Johan Back, 'Haasteet ja mahdollisuudet tietokonetuetussa matematiikan opetuksessa', Marja Kankaanranta (toim.) *Opetusteknologia koulun arjessa*. Jyväskylän yliopisto, Koulutuksen tutkimuslaitos (Jyväskylä 2011).

<sup>116</sup> Alan H. Schoenfeld, 'The Math Wars', *Educational Policy*, vol. 18 (2004:1), s. 253–286.