

Olof Beckman

Ångström, far och son

Ehuru flertalet af universitetslärarna i Sverige, liksom många af dess öfriga vetenskapsidkare, ända in i senaste tid, för sitt uppehålle varit hänvisade på en föga afundsvärd aflöning, har det ändå funnits utmärkta personer, som, för att få egna sig åt vetenskapliga sysselsättningar, nöjt sig med de i ekonomiskt hänseende ringa förmåner, universiteten haft att erbjuda. – Äfven föremålet för denna lefnadsteckning, professorn ANDERS JONAS ÅNGSTRÖM, hade under större delen af sin lefnad att draga sig fram med små inkomster. Men han gjorde detta mycket lättare, än mången annan, ty han var af naturen sparsam och hade från sin tidigaste barndom fått vänja sig vid att reda sig med litet.

Med dessa rader inleder Robert Thalén en lefnadsteckning av sin lärare och företrädare som professor i fysik vid Uppsala universitet. Anders Jonas Ångström och hans bröder är utmärkta exempel på hur goda begåvningar trots små omständigheter kunnat nå framstående positioner i samhället. Deras farfar, Anders Persson, var bonde i Ånge i Borgsjö socken i Medelpad. Dennes son Johan tog sig namnet Ångström. Om Johan berättas att han som barn brukade ställa sig på en berghäll hemma vid gården och på lek hålla predikningar. En granne var inte alls imponerad av detta och lär ha yttrat: »När den där blir prest, skall jag bestå honom med prestkappa.» Anders Persson hade dock höga tankar om sin son. Han satte honom i skola och understödde hans utbildning till prästämberet. Efter sin prästvigning lär Johan Ångström ha besökt den myndige grannbonden, men löftet från tidigare år blev inte infriat. Efter några olika förordnanden blev Johan Ångström brukspredikant vid Lögdö och Lagfors bruk. Han blev kvar där till 1823, då han blev komminister (med placering först i Ullånger och sedan i Sättna). Det berättas att han på gamla dagar skrev till en brorson i Ånge, som då hade den gamla fädernegården, och undrade om hans berghäll från barndomen fanns kvar. Den fanns kvar, men några få år senare sprängdes den för att ge plats åt en nybyggnad. Man konstaterade att sprängningen hade skett samma dag och timme, som den åldrade Johan Ångström lämnade jordelivet.

Komminister Johan Ångström var gift med Catarina Thunberg



Figur 1. Anders Jonas Ångström (1814–1874), porträtt på fysiska institutionen. Foto Teddy Thömlund.

och fick med henne tre söner, alla födda i Lögdö. Komministerlönen var ringa, endast 50 tunnor spannmål samt avkastningen av ett litet boställe, men inte desto mindre kunde de tre sönerna underhållas och få skolutbildning i Härnösand. Alla tre fortsatte därefter med högre studier. Den äldste sonen, Johan Ångström, blev provinsialläkare i Lycksele och senare i Örnsköldsvik. Bland annat med understöd från Kungl Vetenskaps societeten i Uppsala företog han botaniska resor till svenska och norska lappmarken, senare även till Karelen och ryska Lappmarken. Han utgav flera skrifter i botaniska ämnen. Mossläktet Ångströmia är uppkallat efter honom. Yngst var Carl Arendt Ångström, som genomgick Falu bergsskola. Han blev disponent vid Tabergs gruvor, och senare professor i tillämpad mekanik samt lärare i bergsmekanik vid Teknologiska institutet (nu Tekniska Högskolan) i Stockholm. Anders Jonas Ångström, vars levnad beskrivs i första delen av denna artikel, var mellanbarnet i familjen. Hans son, Knut Johan

Ångström, också professor i fysik vid universitetet i Uppsala, är föremålet för artikelns senare avdelning.

Naturvetenskap i Uppsala

Det kan här vara lämpligt att gå åtskilliga år tillbaka i tiden för att få en uppfattning om den miljö och de förhållanden som Anders Jonas Ångström mötte i Uppsala.

Under 1700-talet hade naturvetenskaperna en verklig storhetstid i Uppsala med forskare som Linné, Bergman, Celsius och Klingenskierna, för att nämna några få, men framåt 1800-talet skedde en tillfällig nedgång samtidigt som de humanistiska idealen blev förhärskande. Några få gjorde sig dock bemärkta inom de exakta vetenskaperna. *Zacharias Nordmarck* (1751–1828) fick sin utbildning i Uppsala, var professor i fysik i Greifswald 1783–1787, och därefter i Uppsala 1787–1827. Han fann bland annat att ljuset från olika ljuskällor bröts olika starkt i ett prisma. Han gjorde dock inga systematiska mätningar. (Det blev Anders Jonas Ångström som längre fram med bättre apparatur kunde realisera detta mål.) Nordmarck gjorde emellertid goda insatser inom hydrodynamik och han var mycket intresserad av undervisningen. Han anskaffade nya instrument och många av hans apparater finns ännu i behåll. Nordmarck efterträddes 1827 av *Fredric Rudberg*, som gjorde framstående undersökningar i värmelära och optik. Även Rudberg intresserade sig för studenternas undervisning. Med anslag från universitetet reste han 1831 till Paris där han inhandlade en uppsättning apparater. Det skulle emellertid dröja innan de kunde placeras i lokaler som lämpade sig för experimentella ämnen.

En framstående matematiker och astronom vid 1800-talets början var *Jöns Svanberg* (1771–1851) från Nederkalix. Han blev student i Uppsala 1787, och docent i matematik 1794. Han var ledare för en gradmätningsexpedition till Tornedalen 1801–03 för kontroll och revidering av resultaten från den tidigare gradmätningen 1736 under ledning av fransmannen Maupertuis, där Anders Celsius deltagit. Svanberg utsågs 1803 till astronom vid Kungl. Vetenskapsakademien i Stockholm, och var under åren 1811–41 professor i matematik i Uppsala. Jämte många andra vid denna tid var Jöns Svanberg starkt intresserad av ungdomens fysiska forstran. År 1796 grundade han Uppsala Simsällskap, världens numera äldsta simsällskap. Samma år ledde han den första simpromotionen. Möjligen var denna ursprungligen avsedd som en mild karikatyr av de högtidliga akademiska festligheterna, men den fick snart sitt eget värde. Svanberg blev även teologie doktor (1830) och efter avskedet från professuren ägnade han sig åt sitt prebendepastorat i Alunda. Akademikerna visade sannerligen stor bredd i sin verksamhet på den tiden!

Jöns Svanberg hade två söner, som blev professorer i Uppsala. *Adolf Ferdinand Svanberg* (1806–57) blev student i Uppsala 1819 och docent i matematik 1828. Han utnämndes 1841 till professor i fysik efter Fredric Rudberg. Adolf Ferdinand Svanberg ägnade sig bl. a. åt termoelektriska undersökningar och han konstruerade ett



Figur 2. Institutionsbyggnad (Kemikum) vid Engelska parken, uppförd i slutet av 1850-talet för kemi, medicinsk kemi, mineralogi/geologi samt fysiskt kabinett. Bilden visar endast den södra tredjedelen av byggnaden, den del där Anders Jonas Ångström från år 1858 i översta våningen samt tornet gjorde sina banbrytande spektroskopiska arbeten. Under hans tid låg professors bostad i den centrala delen, medan den norra tredjedelen disponerades av mineralogi/geologi. Sedan kemin år 1904 fick en ny institution kallades byggnaden »Gamla Kemikum». Foto univ.bibl.

instrument för mätning av strålning, en *bolometer*. Han registrerade därvid hur resistansen hos en koppartråd ändrades med temperaturen, då tråden träffades av strålning. Apparatsamlingen från Fredric Rudberg utökades, men svårigheten var fortfarande att skaffa lämplig lokal. Svanberg lyckades dock 1845 av konsistoriet få tillstånd att utnyttja tre rum i konstistoriehuset (nordost om Domkyrkan). De hade använts som häkte och Svanberg fick förbinda sig att lämna rummen om de behövdes för sitt tidigare ändamål.

Lars Fredrik Svanberg (1805–1878) blev liksom brodern student i Uppsala 1819 och ägnade sig sedan åt bergsvetenskap. Han var elev till Jöns Jakob Berzelius och utsågs på dennes förord till kemist vid Vetenskapsakademien. Han förordnades senare (1853) att inneha den nya professuren i kemi i Uppsala och tog initiativ till byggande av ändamålsenliga institutioner vid universitetet. En institution stod färdig 1858 vid Engelska Parken; den byggnad med torn som senare kallats Gamla Kemikum, resp. Philologikum (Fig. 2). Denna skulle förutom kemi även inrymma medicinsk och fysiologisk kemi, mineralogisk-geologiska samlingar samt fysika-

liskt kabinett, den dåtida benämningen på en fysisk institution. I sin minnesteckning över Knut Ångström skriver Hugo Hildebrandsson att tydligen ingen fysiker deltagit i planeringen av byggnaden. Adolf Ferdinand Svanberg var inte i tjänst på grund av sjukdom, och åt fysiken lämnades den mest olämpliga lokalen, nämligen södra delen av översta våningen med tornet närmast landsvägen (nuvarande Thunbergsvägen). Jag citerar Hildebrandsson: »Astronomien kanske undantagen, finnes intet ämne, i hvilket den praktiska verksamheten har större behof af fast underlag för instrumenten än fysiken. Fasta uppställningsplatser voro, strängt taget, omöjliga att i denna lokal erhålla. Själva byggnaden är så svagt uppförd och dåligt grundad, att vid stark bläst själva murarna skaka så, att t. o. m. arbetet med en känslig galvanometer omöjliggöres. Härtill komma nu de ännu svårare skakningarna, som uppkomma genom körslor på landsvägen, slående i dörrar eller portar och vedhuggning i källaren. Äfven föreläsningsexperimenten besvärades ofta af dessa skakningar.» (Trots den dåliga grunden och svaga uppförandet står dock byggnaden ännu i dag.) Det var här fysiken äntligen fick sina »permanent» lokaler.

Ytterligare en framstående forskare med namnet Svanberg var verksam vid denna tid. Gustaf Svanberg (1802–82) från Värmland inskrevs som student i Uppsala 1819. Han blev docent i astronomi 1825, samt observator och prefekt för observatoriet 1829. Han utnämndes 1842 till professor i astronomi. Gustaf Svanberg var mycket aktiv och genomdrev byggandet av ett nytt observatorium vid Rackarbacken. Detta invigdes 1853 och hyser fortfarande universitetets astronomiska institution; numera med internationellt förgrenat observationsnät, eftersom Uppsalahimlen inte längre lämpar sig för observationer.

Anders Jonas Ångström

Anders Jonas Ångström föddes den 13 augusti 1814. Efter skoltiden i Härnösand blev han student i Uppsala 1833 och ägnade sig sedan åt studier i matematik och fysik. För att klara sitt uppehälle fick han flera gånger ta tjänst som informator, men det hindrade inte att han redan 1839 kunde ta examen med högsta betyg, *laudatur*, i matematik, astronomi och fysik. Han kunde därmed delta i magisterpromotionen den 15 juni 1839 med Atterbom som promotor. Tentamen i fysik för professor Fredric Rudberg hade för övrigt varit omsorgsfull; den varade i sju timmar, en »examen rigorosum». Resultat var tydligen mycket gott, eftersom han erbjöds fortsatt arbete hos Rudberg. Under våren 1839 skrev han en doktorsavhandling med titeln »Om conisk refraktion», samt ett arbete »De theoria lucis colorisque». Under hösten blev han utnämnd till docent i fysik. Utan tvivel hade han siktat på att senare kunna efterträda Rudberg, men denne avled oväntat redan i juni 1839, och efterträddes 1841 av Adolf Ferdinand Svanberg. Emellertid öppnades för Anders Jonas en möjlighet till tjänst som observator i astronomi. Under 1842 övade han sig i astronomiska observationer hos sin vän N. H. Selander i Stockholm. Året därpå utnämndes han till observator i Uppsala, sedan han som specimi-

nering publicerat avhandlingen »Ad theoriā cometarum addita-menta». Tjänsten betecknades som adjunkt och innebar en lön av 90 tunnor spannmål. Ångström tjänstgjorde även som examinator i studentexamen, som då endast skedde vid universitetet. Han vikarierade också som professor i astronomi under något år. 1845 gifte han sig med Augusta Carolina Bedoire, dotter till brukspatron Henrik Bedoire och Carin Henrietta Littorin. Anders Jonas son Knut skriver i minnesteckningen över sin far att eftersom bruden inte medförde någon egen förmögenhet i boet; »så syntes Ångström allt fortfarande få god användning för den fäderneärfda förmögenheten.»

Vid några tillfällen under 1850-talet vikarierade Anders Jonas Ångström för Adolf Ferdinand Svanberg under dennes sjukdom. Efter Svanbergs död 1857 utnämndes han slutligen till professor i fysik 1858, en professur som han innehade till sin död 1874.

Slutet av 1700-talet och början av 1800-talet kännetecknades av en kraftig utveckling inom den klassiska fysikens alla grenar. En mängd nya upptäckter och rön skedde inom termodynamik, optik, termoelektricitet, elektricitetslära och magnetism. Ångström hade djupgående kunskaper inom de flesta av dessa fysikens områden. Han övertog i några fall mätningar och projekt från sina företrädare, men han prövade även nya vägar tills han fann sin egen specialitet, spektroskopi. Det kan vara lämpligt att först dröja vid hans mätningar av jordens magnetfält, jordlagrens temperatur och värmets ledning.

Jordmagnetiska mätningar och astronomi

Redan på Fredric Rudbergs tid fanns i Uppsala ett stort intresse för mätningar av det jordmagnetiska fältet. Rudberg anskaffade lämpliga mätinstrument och uppförde på egen bekostnad ett litet järnfritt observatorium söder om slottet. Hans kollega i astronomi Gustaf Svanberg studerade 1833–35 i Tyskland, där han i Göttingen fick kontakt med Karl Friedrich Gauss. Denne hade tillsammans med Wilhelm Weber bildat »Göttingen Magnetischer Verein», en sammanslutning för jordmagnetiska mätningar. Man hade organiserat mätningar vid ett 40-tal fysikaliska institut och astronomiska observatorier runt om i världen, inbegripet Uppsala. På vissa avtalade dagar gjorde man varje år mätningar av det jordmagnetiska fältet till både riktning och styrka. I Uppsala inrättade Svanberg ett magnetiskt observatorium i norra slottstornet. Detta visade sig emellertid inte vara lämpat för absolutmätningar, varför han uppförde ett nytt, järnfritt hus vid observatoriet. Det ersattes 1864 i sin tur av ännu ett järnfritt hus i närheten av den kemiska institutionen. Det huset, som senare flyttades närmare Villavägen, revs först 1953 för att lämna plats åt nya fysikinstitutioner.

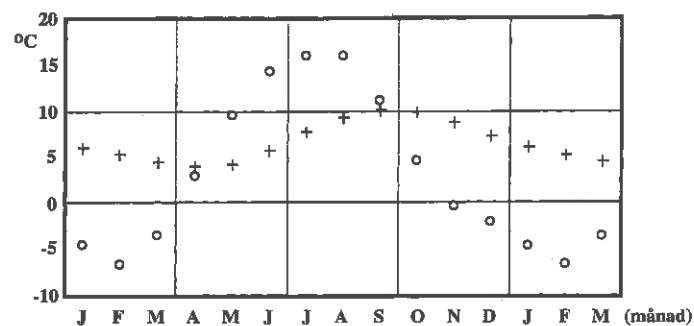
Magnetiska mätningar ansågs i första hand höra hemma inom astronomin, vilket är anledningen till att Anders Jonas Ångström som observator hos Svanberg kom i kontakt med dem. Mätningarna intresserade honom och redan under en resa 1843 besökte han Johann von Lamont i München, något som ledde till livslång kontakt och vänskap. Genom att under lång tid undersöka jordmagne-

tismen hade Lamont lyckats visa att störningar i magnetfältet hade en period av omkring elva år, dvs. samma period som variationen i solfläckarnas intensitet. För sina mätningar hade Lamont utvecklat nya instrument. Ångström inköpte ett sådant instrument, som han utnyttjade under sin återfärd till Uppsala. Han planerade att i Sverige kartlägga det magnetiska fältet, och han gjorde mätningar över magnetfältets inklinations och absolutintensitet på flera platser i landet. Några observationsresultat blev aldrig tryckta, men hans verksamhet inspirerade många till fortsatta magnetiska mätningar, vilka pågick in på 1900-talet. Ångströms kunskap om jordmagnetism medförde också att han av Kungl. Vetenskapsakademien fick i uppdrag att bearbeta de magnetiska observationer, som företagits ombord på fregatten *Eugenie* under en världsomsegling 1851–53. Den ansvarige observatören hade avlidit strax efter hemkomsten och Ångström var den ende som tillräckligt behärskade området. Emellertid var journalerna delvis ofullständiga med avseende på olika korrekationer, varför bearbetningen tog avsevärd tid. Resultatet förelåg inte i tryck förrän 1874, samma år som Ångström avled.

Anders Jonas Ångströms arbeten inom ren astronomi är inte många, men de vittnar om att han var väl insatt i denna vetenskap, och att han visste att hävda egna åsikter inom aktuella områden. Här kan nämnas en uppsats om Halleys komet, samt ett studium av retardationen hos Enckes komet. I en artikel »Om æthers motstånd och småplaneternas attraktioner» opponerade han sig mot en teori enligt vilken kometens inbromsning orsakades av en »eter», som uppfyllde världsrymden. I stället förklarade han fenomenet som en inverkan av småplaneternas gravitation. Även om Ångström inte ville förklara kometers inbromsning med en eter är det helt klart att han i övrigt delade den allmänna uppfattningen om denna alltestades närvarande eter. I sitt första större optiska arbete beskriver han hur ljusstrålarnas snabba oscillationer vid absorption i ett medium värmer detta och därmed sätter materialets smådelar i en pendelrörelse om än med långsammare takt. Dessa pendelrörelser (värmesvängningar) skulle enligt Ångström i sin tur förmedla en vågrörelse tillbaka till etern, i vilken strålningen sedan skickas vidare. Man hade ännu ingen uppfattning om strålningens natur och visste inte att den (även i vakuum) består av snabbt svängande elektriska och magnetiska fält.

Jordtermometrar

Ett annat forskningsfält, som Anders Jonas Ångström »ärvde» från sina företrädare rörde värmeläran. Under 1830-talet hade man tagit initiativ till gemensamma skandinaviska naturforskar-möten i medicin och naturvetenskap med ett första möte i Göteborg 1839. Vid det tredje naturforskar-mötet i Stockholm 1842 redogjorde Ångström för en undersökning över värmets övergång från en metall till en annan. Denna trycktes senare i Poggendorffs *Annalen der Physik* 1853 under titeln »Einige Beobachtungen in Betreff der Wärme und deren Theorie». I en fotnot anger Poggendorff att Ångströms uppsats tyvärr varit honom obekant i 10 år,



Figur 3. Månadsvisa medelvärden för tiden 1838–1845 av lufttemperaturen (o) samt jordtemperaturen på ett djup av 10 fot (+).

men att han ansåg den vara av så stort intresse att den skulle spridas i en större krets.

År 1855 publicerar Ångström i *Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis* (eller kortare »Nova Acta») en stor undersökning över jordtemperaturen. Kungl. Vetenskapssocieteten hade tidigare bekostat ett antal jordtermometrar, med vilka Fredrik Rudberg 1837 började mätningar av temperaturen på olika djup. Ursprungligen fanns nio termometrar. De nådde alla upp till markytan, men gick ner till olika djup; den längsta ner till 15 fot. Denna termometer bröts dock redan efter några månader på grund av markens tryck. Ytterligare några termometrar gick sönder, men man fick i alla fall en sammanhängande mätserie av temperaturen på djupen två, fyra, sex och tio fot under sammanlagt åtta år. Efter Rudbergs död 1839 fortsattes nämligen mätningarna av Backman, Gustaf Svanberg och slutligen Ångström.

Fig. 3 visar månadsvisa medelvärden av luftens temperatur, samt av jordens temperatur på det största djupet 10 fot. Temperaturerna utgör medelvärden för de åtta åren. Man ser hur växlingen mellan vinter- och sommartemperatur fortplantas ner i jorden, men att den samtidigt blir mindre markant. I luften är skillnaden mellan högsta och lägsta värden dryga 22 grader, men på 10 fots djup har omfånget minskat till ca 6 grader. Vidare sker en förskjutning i tiden. På 10 fots djup är temperaturen som lägst i april och når sitt största värde i september/oktober. Ångström gjorde en noggrann matematisk analys av värmets transport ner i jorden. Den kan liknas vid en »värmevåg», vars storlek han kunde sätta i relation till de fysikaliska egenskaperna hos jordlagren, såsom värmeledningsförmåga, densitet m. m.

Ny metod att mäta värmets ledning

Utan tvekan har mätningarna av jordtemperaturen inspirerat Ångström till en ny metod att bestämma värmeledningsförmågan hos fasta kroppar (och även vätskor). Han tillämpade sin nya metod vid mätningar på koppar och järn. Därvid använde han långa stavar (en halv till en meter långa). Ena änden värmdes och kylades omväxlande med hundragradig ånga resp. nollgradigt vatten med

en period av ca 20 minuter. Utmed staven satt ett antal termometrar som lästes av varje minut. I analogi med jordtemperaturens ändring ner i jordlagren varierade temperaturen längs staven; en »värmevåg» fortplantades utmed staven med avtagande amplitud. Resultaten, som publicerades i Poggendorffs *Annalen* 1861 och 1863, visar att Ångström väl behärskade såväl det experimentella utförandet som den teoretiska behandlingen av mätmetoden. Hans mätresultat står sig gott än i dag. Ångströms metod har obestriddliga fördelar framför äldre metoder, vilka byggde på direkt mätning av värmemängder, något som är svårt att göra med noggrannhet. Med vissa modifieringar fick metoden vidsträckt användning. Den är enkel genom att mätningen är oberoende av storleken hos den tillförda värmemängden och dessutom av det värme som genom strålning försvinner genom stavens yta. Mätningen ger dock inte i första hand värmeledningsförmågan, utan en storhet som kallas värmediffusivitet och mäts i m^2/s . Den beror förutom av värmeledningsförmågan även av densiteten och specifika värmekapaciteten. Densitet och specifikt värme är dock storheter som man relativt enkelt kunde mäta med stor noggrannhet. Ur det uppmätta värdet på värmediffusiviteten kunde man således bestämma värmeledningsförmågan.

Emellertid blev Ångström utsatt för hård kritik från Dr W. Dumas i Berlin i *Fortschritte der Physik*. Ångström försvarade sig mot Dumas angrepp i Poggendorffs *Annalen* Bd 123, år 1864. I en fotnot kan man läsa: »Mein geehrter Recensent, Hr D findet auch in dieser Abhandlung vieles zu tadeln.» Ångström kunde förvisso vara ganska skarp. Han anmärker bl. a. på en detalj i Dumas metod för en delberäkning: »Diese seine Methode ist gewiss bewundernswert einfach, aber sie hat doch einen wesentlichen Fehler, – sie ist falsch.»

Dr Dumas fortsatte emellertid sin kritik, nästa gång i en 40 sidor lång artikel i Poggendorffs *Annalen* 1866. Ångström blev trött på dessa till största delen obefogade angrepp, och beslöt att tillsvidare avstå från att svara. Han hade blivit allt starkare engagerad i ett nytt forskningsområde, spektroskopi.

Spektroskopi

Anders Jonas Ångströms första arbete inom det område som skulle bli hans väsentligaste, nämligen spektroskopi, trycktes i *Vetenskapsakademiens Handlingar* 1852 under titeln »Optiska undersökningar». Arbetet kom i tysk översättning i Poggendorffs *Annalen* 1855 (»Optische Untersuchungen») samt samma år i *Philosophical Magazine* (»Optical Researches»). De flesta av Ångströms artiklar publiceras först som *Handlingar* i Vetenskapsakademien, samt därefter i tysk version i Poggendorffs *Annalen der Physik und Chemie* och i översättning till engelska i *Philosophical Magazine*, ibland dock med ändringar och tillägg. Några artiklar finns även på franska i *Annales de Chimie et de Physique*. Dessa översättningar av en och samma artikel till flera språk ger ett intryck av att många av vetenskapsmännen i de stora nationerna endast behärskade sitt eget modersmål, förmodligen dock komplet-

terat med latin, som under 1800-talet fortfarande hade en stark ställning inom alla vetenskaper.

Ångströms uppsats »Optiska undersökningar» är ett pionjärbete inom spektroskopi. I omfattande diskussioner ger han grunden för spektralanalys. När Ångström senare (1870) invaldes i Royal Society i London yttrade den engelske fysikern Sabine att Ångströms arbete innehåller grundläggande principer för nästan allt som fram till den tiden utforskats inom spektralanalysen. (»His Optic Researches, 1853, contain the fundamental principles of nearly all that has been done since.»)

I sina första spektroskopiska undersökningar använde Ångström ett flintglasprisma från Merz med en brytande vinkel av $46^{\circ}34'57''$. (Prismat inställdes för minimideviation för den gula natriumlinjen, dvs. D-linjen i Fraunhofers solspektrum. Brytningsindex för denna våglängd är 1,663.) Med ett prisma kan man inte bestämma våglängder. Ångström kunde därför endast göra noggranna ritningar av spektra, där t. ex. 1 mm utgör en bågminut på spektrometers skala. Han återgav solspektrum, samt gnistspektrum för flera metaller, liksom även spektrum för några gaser. I sin uppsats framhåller Ångström att den elektriska gnistan utgör den bekvämaste och bästa metoden att studera spektrum av en metall i gasformigt tillstånd. Ett spektrum från en gnista innehåller två delar, dels spektrallinjer som hör till gnistgapets metaller, dels linjer som kommer från luften i gnistgapet. Han finner vidare att om gnistgapets elektroder innehåller en legering av två metaller, t. ex. bly och tenn, så observerar man de linjer som hör till de bägge metallerna. En anknytning till spektralanalys är därmed uppenbar. Han skriver även att en metall i gasform utsänder ljus av samma färg som den kan absorbera, något som kan tillämpas på de Fraunhoferska linjerna i solspektrum. (Dessa utgör mörka spektrallinjer i solspektrum, orsakade av att olika grundämnen i solens yttre atmosfär absorberar ljus av bestämda våglängder.)

Ångström torde vara den förste som observerat spektra från gaser. Därvid inneslöt han gnistgapet i en glascylinder, som han kunde fylla med syre, koldioxid, kväve, kväveoxider och väte. Hans studium av vätetts linjer kan sägas vara en första början till den systematik över spektrallinjers våglängder, som i förlängningen bildade den experimentella basen för Bohrs atomteori.

I *Vetenskapsakademiens Handlingar* för 1861 (»Om de Fraunhoferska linierna i solspektrum») redogör Ångström för fortsatta studier av solspektrum. Han har därvid fått hjälp av adjunkten i fysik Robert Thalén, sedermera hans efterträdare som professor. Ångström anger här vilka metaller som ger upphov till flera av Fraunhofer-linjerna i solspektrum. Han framhåller att den tyske fysikern Gustaf Robert Kirchhoff har identifierat åtskilliga linjer i solspektrum såsom tillhörande järn, magnesium, nickel och krom, men att han själv kan tillägga kalcium, aluminium och mangan, samt troligen även strontium och barium.

Ångströms uppsats finns även i Poggendorffs *Annalen* 1862 (»Ueber die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum») och i *Philosophical Magazine* juli 1862 (»On the Fraunhofer-lines visible in the Solar Spectrum»). I den tyska versionen finns dock två

intressanta tillägg. Det första är en fotnot, där han hänvisar till ett anförande hållet av John Tyndall, Royal Institution, med titeln »On the Physical Basis of Solar Chemistry». Tyndall nämner ett flertal forskare, som studerat metallernas spektrallinjer, dock utan att sätta dem i direkt samband med solspektrum. Tyndall skriver:

»But none of these distinguished men betrayed the least knowledge of the connexion between the bright bands of the metals and the dark lines of the solar spectrum. The man who came nearest to the philosophy of the subject was Ångström. In a paper translated from Poggendorff's *Annalen* by myself, and published in the *Philosophical Magazine* for 1855, he indicates that the rays which a body absorbs are precisely those which it can emit when rendered luminous. In another place he speaks of one of his spectra giving the general impression of reversal of the solar spectrum.»

Varför är Ångström så noga med att citera detta? Kanske är det ett led i en prioritetsstrid, som tydligen initierats av Kirchhoff. Ångström gör nämligen i den tyska versionen ett andra tillägg. Han skriver att han erhållit ett exemplar av Kirchhoffs arbete: »Untersuchungen über das Sonnenspektrum» (Königl. Akad. zu Berlin, 1861). Han uttrycker sin stora beundran för Kirchhoffs undersökningar, men han kan dock inte förtiga sitt »stora missnöje» med att Kirchhoff nedvärderar andras forskningsresultat. (»... so kann ich doch nicht mein Missfallen unterdrücken über die Weise, wie er den, wenn auch geringeren, Verdiensten Anderer Gerechtigkeit widerfahren lässt.») Ångström finner sig föranlåten att i fyra punkter sammanfatta sina viktigaste resultat ur »Optiska undersökningar» från 1853. Han framhåller att hans mätningar över spektrallinjer för olika metaller utgör en grund för spektralanalysen. Vidare skriver han att strålning och absorption motsvarar varandra, och att detta ligger till grund för analysen av solspektrums linjer.

Kirchhoff hade tillsammans med Bunsen gjort ingående studier över metallernas spektra och spektralanalysens grunder. Kirchhoffs förnämsta arbeten behandlar sambandet mellan absorptions- och emissionsförmågan hos kroppar som utstrålar värme eller ljus, publicerad i Poggendorffs *Annalen* 1860. Han har där gjort en omsorgsfull matematisk analys, vars resultat numera sammanfattas under benämningen *Kirchhoffs strålningslag*. I samma volym av *Annalen* redogör Kirchhoff i en kort artikel för studier av natriumlinjens »omvändning», som han gjort tillsammans med Bunsen. Solljus fick falla in mot en låga med koksalt framför spektrometern. Vid starkt solljus syntes den mörka Fraunhoferska D-linjen, men om solljuset dämpades tillräckligt framträdde på samma ställe den gula natrium (D) linjen. Emellertid framgår det också av artikeln att Kirchhoff är mycket angelägen om sitt revir. Artikelns sista mening lyder: »Wir behalten uns vor, die Konsequenzen zu entwickeln, die an diese Thatsache sich knüpfen lassen.»

Möjligen har Ångströms sammanfattning av sina tidigare insatser i den uppsats, som ovan nämnts, påverkat Kirchhoff. I vilket fall tar Kirchhoff till storsläggen i en lång artikel i Poggendorffs *Annalen* 1863 med titeln »Zur Geschichte der Spektral-Analyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre». Denna innehåller inga egentliga forskningsnyheter utan är med sina 17 sidor en omsorgsfull nedvärdering av de resultat, som Ångström, Plücker,

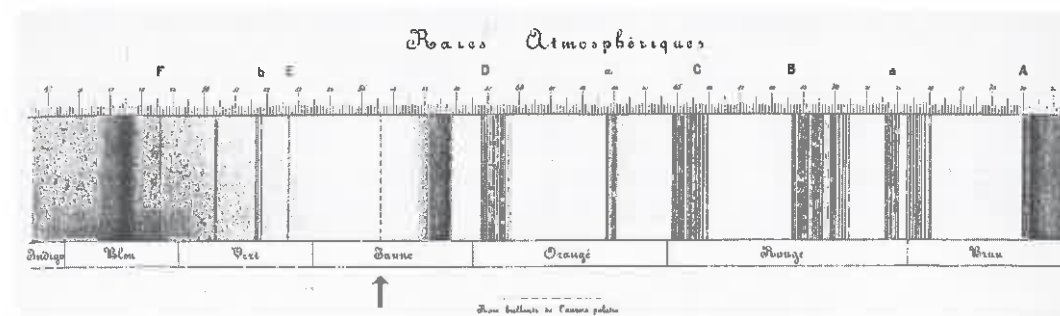


Figur 4. Ångströms spektrometer från Pistor och Martins i Berlin, ett utmärkt exempel på högt driven precision i tillverkning av instrument. Fysikum, foto Teddy Thömlund.

Foucault, Miller, Stokes m. fl. gjort, trots att Kirchhoff i sin egen forskning dragit nytta av dessas tidigare arbeten. Ångström är således inte ensam om att ha blivit angripen, men Kirchhoff uppehåller sig speciellt vid Ångströms tolkning av spektrallinjernas »omvändning». Ångström var först med att konstatera att en och samma metall kan ge en emissionslinje med samma våglängd som en mörk absorptionslinje i solspektrum. Kirchhoff ville göra gällande att Ångström inte tagit tillräcklig hänsyn till temperaturrens betydelse. Enligt Kirchhoff borde Ångström sagt att en kropp utstrålar ljus av samma färg, som den vid *samma temperatur* absorberar. Han anser därmed att Ångströms formulering saknar relevans. Det råder ingen tvekan om att Kirchhoff gjorde en synnerligen djupgående matematisk behandling av absorptionslagen, där temperaturen är av stor vikt. Inte desto mindre var Ångström först med en absorptionslag, låt vara endast kvalitativt formulerad.

Ångström kände sig säkerligen djupt kränkt av Kirchhoffs angrepp. Någon officiell erkänsla stod inte att få i Tyskland, men i både Frankrike och England rönt Ångström stor uppskattning. Som tidigare nämnts blev han invald i Royal Society 1870, och 1872 erhöill han som förste svensk denna akademis Rumford-medalj.

Sin största berömmelse har Ångström emellertid fått genom sina omfattande bestämningar av spektrallinjernas våglängder. 1863 publiceras i *Vetenskapsakademiens Handlingar* en uppsats om »Ny bestämning av ljusets våglängder». Den återfinns i översättning i Poggendorffs *Annalen* och *Philosophical Magazine* 1864. Ångström använde här ett gitter från Nobert i Berth och en spektrometer, en »teodolit», från Pistor och Martins i Berlin, fig. 4. Genom användning av ett gitter kan man bestämma spektrallinjernas våglängd, om man känner avståndet mellan gittrets ritsar, gitterkonstanten. Noberts gitter med 4501 ritsar hade en bredd av 9,0155 pariser linjer. Det går 12 linjer på en tum, och Ångström erhåller därmed en gitterkonstant av 0,000166954 pariser tum. Han ger våglängden för ett sjuttiofem linjer i solspektrum. Våg-



Figur 5. Översiktsbild av solspektrum ur »Recherches sur le Spectre Soleil» från 1868. Pilen markerar läget av den av Anders Ångström upptäckta norrskenlinjen.

längderna är angivna i hundramiljontedels pariser tum. En pariser tum är lika med 27,070 mm. Genom multiplikation med 2,707 erhåller man värdet i hundramiljontedels centimeter, den enhet som Ångström senare övergick till att använda och som officiellt fick namnet *ångströmenhet*.

Ångströms största arbete »Recherches sur le Spectre Solaire» publicerades i Uppsala 1868. Det rönt stor internationell uppmärksamhet och blev under en följd av år normgivande för spektroskopiska arbeten. Arbetet innehåller en noggrann redogörelse för uppmätning av solspektrum med en atlas över närmare tusen spektrallinjer. Fig. 5 ger ett exempel på spektrallinjer, så som de presenteras i atlasen. Han hade nu flera nya gitter, bland annat ett med 2701 ritsar på en bredd av ca 9 pariser linjer och ett med 1501 ritsar på 8 linjer. Mätningarna, som gjordes tillsammans med Robert Thalén, är synnerligen omsorgsfullt utförda. Man ville emellertid ange ljusvåglängder i metersystemet, varför gittren måste kalibreras så att gitterkonstanten relateras till centimeter och inte pariser-tum. Detta skedde med hjälp av Uppsala-institutionens meterstav. Denna kontrollerades och Ångström publicerar ett protokoll från Conservatoire Imperial des arts et métiers i Paris, undertecknat av honom själv och H. Tresca, där Uppsala-metern befinnes vara 0,190 mm för kort. Tyvärr visade det sig så småningom att atlasens våglängdsvärden, som baserats på denna kontrollmätning, var systematiskt felaktiga. Då Vetenskapsakademiens sekreterare Georg Lindhagen 1872 undersökte olika meterprototyper, bad Ångström honom att även kontrollera Uppsala-metern. Den tidigare kalibreringen visade sig då vara felaktig, vilket innebar att Ångströms alla våglängdsvärden därmed har ett systematiskt fel av ca 0,013%. Som exempel anges i nedanstående tabell våglängdsvärden för de två natrium (D) linjerna, dels enligt

	Vetenskapsakademiens Handlingar		Atlas 1868 Å	Moderna värden Å	Differens %
	1863 10 ⁻⁸ tum	10 ⁻⁸ cm			
D1	2179,70	5900,45	5895,13	5895,923	-0,0135
D2	2177,48	5894,44	5889,12	5889,953	-0,0141

de äldre mätningarna i hundramiljontedels parisertum, vilka multiplicerats med 2,707 för omvandling till ångströmenheter, dels Atlasens värden och moderna våglängdsvärden. Som framgår av sista kolumnen skiljer sig Atlasens värden i detta fall med ca 0,014 % från de moderna värdena.

Ångström planerade säkerligen en förnyad kontroll av metern, samt en revidering av våglängderna i atlasen. Detta kom dock inte till utförande. Vid andra laboratorier hade man gjort noggranna uppmätningar av solspektrum med väsentligt bättre gitter, varför någon revidering inte längre var aktuell.

Ångströms stora arbete »Recherches sur le Spectre Soleil» med spektralatlasen kommer alltid att räknas till de klassiska verken inom spektroskopi. På Solarkongressen i Oxford 1905 fastslogs att den av Ångström införda enheten skulle kallas *ångström*, Å. Först på senare år har man med införande av SI-systemet börjat ersätta ångströmenheten med den tio gånger större enheten nanometer, nm.

Norrskenslinjen

I Kungliga Vetenskaps societeten i Uppsala hade Anders Jonas Ångström den 16 februari 1868 rapporterat en första uppmätning av spektrallinjer i norrskenet. Han publicerar detta i ett kapitel med rubriken »Spectre de l'aurore boréale» i det stora arbetet »Recherches sur le Spectre Soleil». En tysk översättning kom i Poggendorffs *Annalen*, maj 1869, där redaktören lagt till en underrubrik: »Entnommen aus dessen vortrefflichem Werke: Recherches sur le spectre solaire.» Från *Annalen* spreds den omedelbart till *Philosophical Magazine* 1869.

Ångström hade vintern 1867/68 gjort upprepade bestämningar av spektrallinjer i norrskenet, speciellt en »norrskenslinje» i det gulgröna området med en våglängd av 5567 (Å). Ångström anmärker att linjen inte har någon överensstämmelse med linjer i spektra av kända gaser. Detta medverkade säkerligen till att rapporten väckte stor uppmärksamhet. De närmaste åren publicerades flerfaldiga mer eller mindre fantastiska förslag till tolkning av norrskenslinjen. Som ett exempel kan nämnas artiklar i *Philosophical Magazine*, juli 1870, av Arthur Sladen Davis, Mathematical Master, Leeds Grammar School. Han har skapat en teori enligt vilken alla kometer, meteoror m. m. i närheten av solen är omgivna av en utbredd »atmosfär», som sträcker sig ända ut till jorden. Eftersom Ångströms linje inte kan hänföras till någon på jorden känd gas, måste denna atmosfär innehålla gaser, som inte återfinns i våra lägre luftlager. Dessa funderingar över okända gaser i världsrymden bör ses i sitt rätta tidsperspektiv. Ett dittills okänt ämne (senare kallat helium) hade upptäckts på solen vid en solförmörkelse 1868. Varför skulle det inte kunna finnas flera sådana ämnen? Det fanns ju ännu ingen erkänd systematik rörande grundämnena och deras förekomst. Ett första försök till systematik, ett periodiskt system, publicerade Mendelejev först år 1869; en förbättrad version kom 1871.

Ångström ansåg även att den gulgröna linjen återfanns i det

s. k. zodiakalljuset, som han observerat i mars 1867. Eftersom zodiakalljuset, som sällan eller aldrig syns i Uppsala, utgörs av reflekterat solljus, kan det emellertid inte innehålla norrskenslinjen. Det är därför troligt att Ångström tagit miste och även vid detta tillfälle studerat norrskenet.

Ångström återkom med en artikel om norrsken i Poggendorffs Jubelband 1874. (Johann Christian Poggendorff hade då redigerat *Annalen* i 50 år, varför hans vänner som en hedersbetygelse åtog sig att redigera ett jubileumsband, och därmed tillfälligt befria honom från redigeringsarbetet.) Ångström ansåg att norrskenet kunde bero på elektriska urladdningar högt uppe i atmosfären, där ingen vattenånga finns. För att efterlikna dessa förhållanden studerade han elektriska glimurladdningar i mycket torr luft. Han trodde sig därvid kunna identifiera några svaga norrskenslinjer i blått och violett såsom tillhörande kväve och syre. Den starka gulgröna och en svagare röd linje förblev dock ett mysterium. Det skulle dröja in på detta århundrade innan dessa norrskenslinjer identifierades som orsakade av elektronövergångar i atomärt syre.

Optik, elasticitet, värmeledning

Med sina djupgående kunskaper inom de flesta av fysikens områden sökte Ångström uppenbarligen efter samband mellan olika fysikaliska egenskaper för att därmed knyta samman tills synes vitt skilda fenomen. Ett exempel utgör hans uppsats i *Vetenskapsakademins Handlingar* 1850 »Om de monoklinoedriska kristallernas molekulära konstanter». Han hade tillgång till en stor uppsättning kristaller av gips, och dessa undersöktes ur en mångfald olika aspekter, såsom brytningsindex, elastiska egenskaper, värmeledningsförmåga, samt även elektriska och magnetiska egenskaper.

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kristalliserar i monoklina systemet med en tvåtalig kristallografisk huvudaxel vinkelrät mot en naturlig klyvyta. Den låga kristallsymmetrin innebär komplicerade optiska egenskaper med bl. a. två optiska axlar. Ångström lyckades slipa tre prismor med olika orientering av brytande kanten relativt de naturliga kristallaxlarna. Brytningsindex för den ordinära och extraordinära strålen bestämdes för natriums gula linje (D-linjen). Han kunde sedan beräkna vinkeln mellan kristallens två optiska axlar, vilka bågge är parallella med kristallens naturliga klyvyta.

Gipskristallernas elastiska egenskaper studerades med hjälp av Chladnis klangfigurer. Därvid spänner man fast en tunn platta i dess centrum. Plattan sätts i svängning genom att man stryker en stråke mot kanten. Om ett tunt lager fint pulver strös ut på plattan samlas pulvret i nodlinjer där svängningarna är som svagast. På grund av gipskristallens klyvegenskaper kunde Ångström endast slipa tunna plattor (diam. $\approx$ 50 mm, tjocklek ca 1 mm) som var parallella med den naturliga klyvytan. Plattorna spändes fast antingen i mitten eller i en kant och bringades i svängning. Genom att studera nodlinjer hos plattans svängningar kunde han dra slutsatser om kristallernas elastiska huvudaxlar.

Värmeledningsförmågan i olika riktningar studerades genom att en kristallplatta beströks med vax. Genom upphettning i en

punkt kunde han sedan se hur vaxet smälte, och därmed notera hur värmten leddes olika fort i olika kristallriktningar. Genom kraftigare upphettning kunde han studera värmens ledning vid högre temperatur. Han observerade hur kristallen blev vit då kristallvatten försvann. Den vita ytan bredde ut sig som en ellips, eftersom ledningsförmågan är olika i olika riktningar. För studier vid lägre temperatur täcktes en kristallskiva med ett tunt islager och kyldes till -16°C . Genom att värma plattan i en punkt i centrum kunde han se hur fort isen smälte i olika riktningar.

En studie av längdutvidgning visade att denna är störst i symmetriaxelns riktning, medan den till och med är något negativ i en riktning i basplanet. Slutligen gjorde Ångström en del observationer om hårdhet i olika kristallriktningar. Försök med kristaller upphängda i ett magnetfält gav dock inte några påvisbara effekter.

Ovanstående experiment visar den stora bredden och idériken i Ångströms forskning. Säkerligen hade han själv en önskan att på sikt kunna sammanställa dessa mätningar, eftersom de rimligen alla måste på något sätt kunna härledas till de »molekylära krafterna i materien». Han skriver i en uppsats att då ljus eller strålände värme absorberas i ett medium uppstår en pendelartad rörelse hos mediets smådelar. Svängningarnas storlek måste bero på smådelarnas massa och på mediets elastiska egenskaper. Han var dock alltför tidigt ute med sina teorier; det skulle dröja in på 1900-talet innan man fick tillräcklig teoretisk och experimentell kunskap för att kunna knyta samman makroskopiska fysikaliska egenskaper med molekylär struktur. Röntgenkristallografin för studium av atomernas ordning i materien och kvantmekaniken med vars hjälp man kan beräkna materialegenskaper har bägge bidragit till denna utveckling från klassisk fysik till den moderna kondenserade materiens fysik.

Anders Jonas Ångström som person

Anders Jonas Ångström avled 21 juni 1874 efter en kort tids sjukdom. Den vetenskapliga världen sörjde en hängiven forskare, som förenade omsorgsfull experimentell skicklighet med djup förtrogenhet med den tidens matematiska hjälpmedel. Hans eget klara intellekt medförde dock att han i föreläsningar ofta kom att ligga på en alltför hög nivå för sitt auditorium. Han var därför inte alltid så lätt att följa för dem, som inte redan var insatta i det aktuella ämnesområdet. Motsvarande gällde även hans vetenskapliga publikationer. Ångströms efterträdare som professor i fysik, Robert Thalén, framhåller i sin levnadsteckning över Anders Jonas Ångström att den ibland knapphändiga framställningen i många av hans skrifter definitivt icke beror på brister i tankeskärpan utan snarare på att han inte ägnade tillräcklig tid åt den formella presentationen. Kanske ansåg han att gjorda antydningar för läsaren skulle framstå som helt klara och tydliga. Enligt Thalén kan de tidigare nämnda kontroverserna med Dumas och Kirchhoff delvis ha haft sådan grund. Vad beträffar striden med Kirchhoff torde även Ångströms starka rättskänsla ha medverkat till att han inte

accepterade dennes version av spektralanalysens utvecklingshistoria.

Till Ångströms förtjänster som lärare och institutionschef måste räknas införandet av fysiklaborationer för studenterna. Professorerna Nordmarck och Rudberg hade som tidigare nämnts införskaffat en instrumentsamling, men det var först då Ångström 1858 fick tillgång till lokalerna i »Gamla Kemikum», som han kunde byta ut de tre rummen i konsistoriehuset mot betydligt rymligare lokaler och därmed starta regelbunden laborationsundervisning.

Ångström blev flitigt engagerad i olika delar av universitetets förvaltning. Han blev 1869 ordförande i den nyinrättade drätsel-nämnden, som hade hand om universitetets ekonomi, och han var universitetets rektor läsåret 1870–71, för att nämna några uppdrag. I konsistorium och fakultet deltog han flitigt i debatten, och han tycks ofta ha haft ganska »kort stubin», om något inte stämde med hans rättsuppfattning. I sin minnesteckning framhåller Robert Thalén att Anders Jonas Ångström offentligen kunde tyckas sträva eller till och med skarp, men att han i det enskilda livet i grund och botten var godlynt och skämtsam. Han var inte så litet disträ (en riktig professor!), men han kunde också efteråt hjärtlig skratta åt mer eller mindre löjliga missöden.

Knut Ångström

Som tidigare nämnts gifte sig Anders Jonas Ångström med Augusta Carolina Bedoire. De fick fyra söner och en dotter, men tre söner dog i späda ålder. Dottern Anna Augusta, född 1847, blev sedermera hustru till C. G. Lundquist, professor i mekanik. Sonen Knut Johan Ångström föddes 12 januari 1857. Familjen fick sin bostad i översta våningen i den nya institutionsbyggnaden (»Gamla Kemikum»). Den låg mellan det fysiska kabinettet och den mineralogisk-geologiska institutionen. Hugo Hildebrandsson skriver i sin minnesteckning över Knut Ångström att denne med undantag av sex år vid Stockholms Högskola tillbringat hela sitt liv på Uppsala universitets fysiska institution. Då Hildebrandsson var student på kurslaboratoriet 1859 kom ibland den knappt treåriga Knut från bostaden in på laboratoriet, där han stillsamt betraktade de olika apparaterna, vilka han var strängt tillsagd att inte röra. Som skolgosse kom han också ofta in och var mycket tacksam om han fick lära sig något om instrumenten. Efter mogenhetsexamen 1877 var studievelet självklart. Han blev filosofie kandidat 1879. Redan 1881 publicerade han i *Vetenskapsakademiens Öfversikt* en artikel: »Vattnets volymsförändring genom absorption av gaser.» Den återfinnes i Wiedemanns *Annalen* 1882. Han redogör där för en mycket noggrann metod att mäta hur vatten utvidgas vid gasabsorption. Artikelns sista mening lyder: »Die oben angeführten Experimente sind im physikalischen Cabinete der Universität zu Upsala ausgeführt worden.» Han planerade även att förbättra metoden och studera andra vätskor, vilket han sedan gjorde under åren vid Stockholms Högskola.

Efter licentiatexamen 1884 gjorde Knut Ångström en utländsk



Figur 6. Knut Ångström (1857–1910), porträtt på fysiska institutionen. Foto Teddy Thörnlund.

resa. Han vistades en längre tid hos August Kundt vid dennes nya laboratorium i Strassburg. Hans noggrannhet vid fysikaliska experiment blev högt uppskattad av Kundt, och Ångström kunde återvända hem med material till en doktorsavhandling: »Om strålände värms diffusion från plana ytor», vilken kom i tysk översättning i Wiedemanns *Annalen* 1885. Man kan här finna början till Ångströms stora intresse för strålningsmätningar. I sitt arbete använde han en differentialtermometer. Denna är en typ av bolometer (ursprungligen uppfunnen av A. F. Svanberg redan 1851); ett instrument som han fann ha mycket stor känslighet och vara överlägset de annars använda termostaplarna. Kunskapen om bolometern hade han säkert tagit med sig från »fysiska kabinetet» hemma i Uppsala. Med sin förmåliga apparatur mätte Ångström den diffust reflekterade strålningen i olika riktningar. (I princip samma teknik användes än i denna dag, nu under beteckningen ARS, angle resolved scattering.) Han studerade en mängd olika material, såsom magnesiumoxid, zinkoxid, krita, gips, zinner, svavelblomma,

blykromat, baryumsulfat och brevpapper. Doktorsavhandlingen prisbelönades av universitetet.

Vårterminen 1885 blev Knut Ångström docent och därmed formellt fastare knuten till Uppsala universitet. Han blev emellertid samma år tillförordnad som lärare vid Stockholms högskola. Högskolan var ännu under uppbyggnad och de lärare som anställdes fick delvis uppgifter som motsvarade en professorstjänst. Själv fick Ångström ett ansvarsfullt uppdrag att inrätta en fysikinstitution. För detta ändamål företog han i augusti–september 1885 en resa till Tyskland och Frankrike, där han besökte de viktigaste fysikinstitutionerna och även inköpte instrument för forskning och undervisning. Vid planeringen av institutionen gjorde han i Stockholm en förmålig organisatorisk insats, vilken vann allmänt erkännande. Säkerligen hade han nytta av detta, då han senare planerade en ny fysikinstitution i Uppsala.

Efter åren i Stockholm återvände Ångström 1891 till Uppsala. Där hade fysikinstitutionen (fysiska kabinetet) skötts av professor med biträde av en amanuens. Ångströms svåger C. G. Lundquist hade tidigare varit adjunkt i fysik, men när han blev utnämnd till professor i mekanik 1875, drogs tjänsten tillfälligt in. Emellertid fick fysiken 1886 disponera hela övervåningen i »Gamla Kemikum», där den norra tredjedelen blev ny bostad åt professorn. Verksamheten utökades, bland annat kunde man intensifiera laborationsundervisningen. En laboratorstjänst inrättades. Den utannonserades 1890, och den 15 juni 1891 utnämndes Knut Ångström till förste innehavare. När sedan Robert Thalén tog avsked blev Knut Ångström kallad till professuren 4 december 1896.

Knut Ångström gifte sig 1886 med Helena Elisabeth Pilo, dotterdotter till den tidigare omtalade matematikern och astronomen Jöns Svanberg. Deras son Anders, 1888–1981, blev fysiker och meteorolog. Han var bl a överdirektör för SMHI. Sonen Tord, 1892–1981, utbildades till civilingenjör och blev en av Sveriges första flygpionjärer. Han tjänstgjorde bl. a. som chef för luftfartsinspektionen 1945–57.

Under åren i Stockholm hade de administrativa uppgifterna inte hindrat Knut Ångström att fortsätta sin egen forskning. Som ovan nämnts fortsatte han där sina mätningar över vätskors volymändring vid gasabsorption, t. ex. då koldioxid, luft och vätgas löstes i nitrobensen, bensen och olika alkoholer. Emellertid var det vid denna tid han på allvar började intressera sig för mätning av solstrålningens intensitet.

Solstrålning och solarkonstant

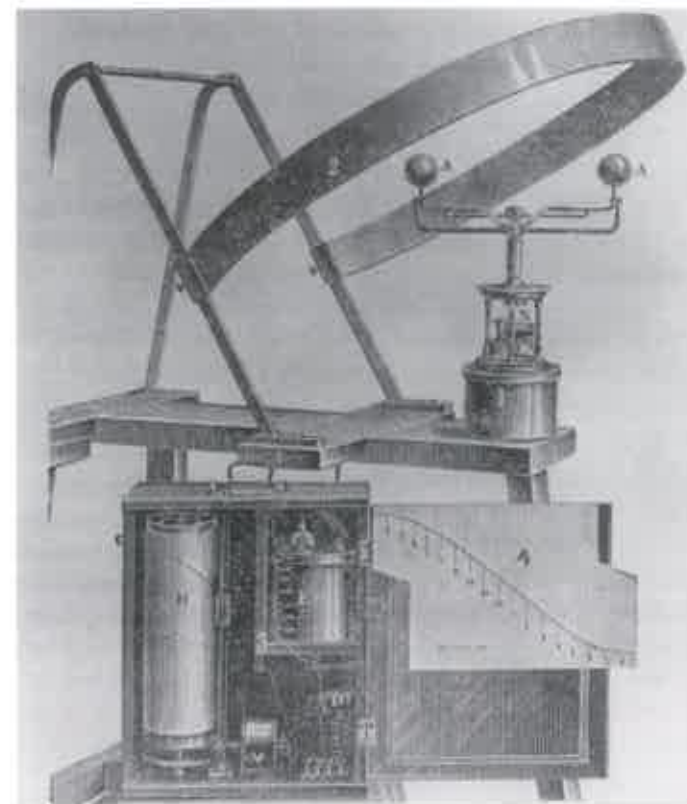
Solen förser oss genom sina strålar med en stor mängd energi, som omvandlas till andra former, mest värmeenergi. För att temperaturen här nere på jorden skall förbli på lagom nivå, måste lika mycket energi skickas tillbaka ut i världsrymden, vilket sker som mera långvägig värmestrålning. För att skapa en bild av denna jordens »energibudget» är det i första hand viktigt att veta storleken på det energiflöde som vi får från solen. Flödet uttrycks med

solarkonstanten, som utgör den energi som per sekund och kvadratmeter faller in mot jordens atmosfär. Även om ca 30% direkt reflekteras av jordatmosfären ut mot rymden är det ett icke föraktligt energiflöde, som jorden erhåller. Ett modernt värde är 1.37 kw/m^2 ; inte mindre än ca 20 000 gånger större än den totala energi, som vi för närvarande till vardags använder för vår energiförsörjning. Det är således en mycket ringa del av den totala solstrålningen som vi behöver utnyttja, men denna del är inte alltid så lättåtkomlig. Dels förbrukar vi i form av kol och olja solenergi från sedan länge svunna tidsåldrar, dels använder vi nutidens solenergi via vattenkraft och i mindre utsträckning energiskog. För närvarande kan vi endast till ringa del lita till vindenergi, solfångare och solceller. För övrigt lämnar dessa oftast sitt bidrag till energin vid fel tidpunkt, varför de måste kombineras med effektiv energilagring. Vilken form vi än väljer har vi dock energin så att säga till låns; hur vi än omvandlar och utnyttjar den kommer den till sist att återböras till rymden som värmestrålning.

Studium av solstrålningens intensitet blev redan under mitten av 1800-talet ett viktigt forskningsområde, och flera mätinstrument, s. k. *pyrheliometrar*, konstruerades. I de första instrumenten (Pouillet, Crova) fick solstrålningen värma kärl med vatten eller kvicksilver, och man bestämde hur fort temperaturen steg med tiden. Mätningarna var dock ganska osäkra, eftersom en svårbedömd mängd värme genom ledning eller strålning försvann från kärlet. Knut Ångström engagerade sig i denna forskning och här gjorde han sin förnämsta vetenskapliga insats. Han byggde instrument för mätning av värmestrålning, vilka vann internationellt erkännande, och hans bestämmningar av solarkonstanten har varit normgivande ända till våra dagar, då man genom att utnyttja satelliter fått helt nya mätmetoder.

Redan Knut Ångströms första instrument, en *differential-pyrheliometer*, innebar ett mycket stort framsteg framför de äldre instrumenten. Den innehåller två cirkulära kopparskivor (diam. 30 mm, tjocklek 5 à 7 mm), som svärtats med sot. Den ena skivan utsätts för solljuset medan den andra är i skugga. Med termoelement kan man mäta temperaturskillnaden mellan plattorna. Den solbelysta plattan blir givetvis varmest. Om man skiftar belysning och skugga mellan plattorna, kommer deras temperatur att ändras och rikta in sig mot en ny jämvikt. Den tid detta tar utgör ett mått på solstrålningens intensitet. För en kvantitativ bestämning fordras att man mäter kopparplattornas storlek, värmekapacitet m. m., men detta kunde man göra med tillräcklig noggrannhet.

Knut Ångström var en mycket skicklig instrumentkonstruktör, vilket bland annat framgår av det automatiskt registrerande instrument, som han prövade sommaren 1888 i Stockholms skärgård. Fig. 7 visar instrumentet såsom det återgives i Wiedemanns *Annalen* år 1890. Han ersatte de tidigare kopparplattorna med två svärtade, ihåliga kopparkulor, förbundna med varandra med ett glasrör, i vars mitt det fanns en kvicksilverdroppe. En av kulorna befann sig alltid i skuggan av en böjd skärm, som kunde ställas in i lämpligt läge med avseende på solens bana över himlen. Då luften i den solbelysta kulan värmdes flyttades sig kvicksilverdroppen i



Figur 7. Pyrheliometer med automatisk registrering av solstrålningen. De två svärtade, ihåliga kopparkulorna (A) sitter på en lodrät axel. Den ena kulan befinner sig i skuggan av den böjda skärmen (2). Under inverkan av solstrålningen växlar kulorna plats, vilket sker oftare, ju starkare solstrålningen är. Strålningen registreras på ett diagram (4). Kurvan är brantast mitt på dagen då solstrålningen är som mest intensiv. Knut Ångström, Wied. *Annalen* bd 39, s. 297 (1890).

röret. Efter en viss förflyttning gjorde droppen kontakt i en strömkrets, varvid ett urverk startade och kulorna bytte plats. Den förut skuggade kulan blev nu allt varmare; kvicksilverdroppen flyttades tillbaka och gav ny strömpuls, så att kulorna åter bytte plats. Varje ombyte registrerades med en penna på en cylinder, som drevs runt av ett räkneverk. För varje ombyte flyttades pennan nedåt en halv millimeter. Ju starkare solstrålningen var desto oftare bytte kulorna plats, vilket innebar att den ritade kurvan blev brantare. På bilden finns avritad en dags registrering, där man ser att kurvan är som brantast mitt på dagen då strålningen är som mest intensiv. Instrumentet fordrade givetvis en noggrann kalibrering så att man kunde avläsa solstrålningens intensitet i absolutvärde, men i övrigt skötte det sig självt under en hel dag.

Ångströms första pyrheliometer hade enligt honom själv två fel; den var inte tillräckligt noggrann och inte tillräckligt känslig. Det blev nödvändigt att tänka i nya banor. Ångström konstruerade ett nytt instrument, *kompensations-pyrheliometern*, som han under ett flertal år successivt förbättrade. Instrumentet fick stor internationell spridning och antogs som officiell standard för mät-



Figur 8. (a) Kompensations-pyrheliometer av Knut Ångströms konstruktion. Instrumentet antogs 1905 som internationell standard för mätning av solstrålningens intensitet. (b) Modern pyrhemeter, SMHI, Norrköping. Fysikum. Foto Teddy Thörlund.

ning av solstrålning vid solarkongressen i Oxford 1905 (då man även införde Ångströmenheten), fig. 8.

Principen för Ångströms kompensations-pyrheliometer är den följande. Två mycket tunna, svärtade platinaband fästes nära intill varandra på en isolerande platta. Med hjälp av termoelement och en känslig galvanometer kunde man mäta temperaturskillnaden mellan dem. Solstrålningen fick falla in mot det ena bandet, samtidigt som man skickade en elektrisk ström genom det andra. Strömmen reglerades så att de bägge banden fick identiskt samma temperatur (galvanometern visade noll). Bandens resistans var känd och genom att mäta strömmen kunde man beräkna den elektriska effekten, vilken blev densamma som solstrålningens effekt. Genom att lägga om en skärm kunde man belysa det andra bandet, medan det första bandet skuggades och värmdes av strömmen. Med denna metod kompenserade man för smärre skillnader mellan bandens storlek mm. De mycket tunna banden (ca 0,01 mm) med liten area ($1,5 \times 18 \text{ mm}^2$) medför att temperaturjämvikt inträffar efter endast något tiotal sekunder. Några betydande korrekationer behövde man inte göra, vilket bidragit till instrumentets internationella framgångar. Det är emellertid mycket viktigt att banden är korrekt svärtade. Ofta har man helt enkelt sotat dem med hjälp av lågan från ett ljus av ren stearin. Banden skall helst absorbera all infallande solstrålning. Ångström lade ner stor möda på att studera denna absorption, som han fann uppgå till 98%.

Fram till 1920-talet tillverkades pyrhemetrar av instrumentfirman *Rose* i Uppsala. Kalibrering skedde på fysiska institutionen. Tillverkning och kalibrering flyttades sedan till SMHI i Norrköping, där Anders Ångström, son till Knut Ångström, ytterligare förbättrade instrumentet. Den senaste serien av dessa modifierade pyrhemetrar tillverkades på 1970-talet, fig 8 b.

Än i denna dag är det av stort intresse att fortlöpande mäta solstrålningens intensitet. För detta ändamål finns ett världsomspännande nät av observationsplatser anslutna till ett gemensamt program, WCRP (World Climate Research Program). För bestämning av solstrålningen har man utvecklat en ny typ av pyrhemeter, där solstrålningen faller in mot en cirkulär öppning till ett hålrum, en kavitet, där *all* infallande strålning registreras. Dessa s. k. kavitetinstrument är normgivande för absolutmätning av solstrålningen, men Ångströms pyrhemeter har fortfarande stor betydelse, eftersom den har mycket hög stabilitet. För samordning av mätningar är det väsentligt att de olika instrumenten kontrolleras och kalibreras mot varandra. För sådan gemensam kontroll av instrument samlas man vart femte år vid World Radiation Center i Davos, Schweiz. Denna senaste IPC VIII (International Pyrhemeter Comparison) ägde rum hösten 1995. Därvid jämfördes och kontrollerades 77 pyrhemetrar från observationsplatser jorden runt. Av instrumenten var inte mindre än 19 av Ångströms modell. Från Uzbekistan deltog man med ett skinande blankt instrument på ett stativ i glänsande mässing. Detta instrument av Knut Ångströms tidiga tillverkning var fortfarande i utmärkt skick.

Regelbunden mätning av solstrålningen avslöjar bland annat

hur större vulkanutbrott inverkar på atmosfärens halt av fina partiklar, den s. k. aerosolhalten. Vid SMHI i Norrköping använder man en Ångströms pyrhemeter för sådana mätningar. Efter vulkanen Pinatubos utbrott på Filippinerna i juni 1991 kunde redan efter några månader registrera en markant höjning av aerosolhalten, vilken låg kvar på en hög nivå under lång tid.

Knut Ångströms pyrhemeter är ett utmärkt instrument för mätning av den solstrålning som faller in mot instrumentet här nere på jorden. För att kunna bestämma solarkonstanten måste man emellertid känna till och korrigera för absorptionen i atmosfären. En första, grov uppskattning av absorptionen kan ske genom att mäta strålningen vid olika solhöjd under dagen; ju lägre solen står ju längre väg har strålarna att passera genom atmosfären, varvid absorptionen blir större. Mätning av solstrålningen kan naturligtvis ske t. ex. i Uppsala, men bättre är att minska inverkan av atmosfärens absorption genom att stå på ett högt berg och mäta. Man bör också uppsöka sydligare breddgrader så att solen kommer nära zenit. Av denna anledning gjorde Ångström tillsammans med en assistent, Otto Edelstam, somrarna 1895 och 1896 mätningar på Tenerife, Kanarieöarna. Kring sommarsolståndet står solen där bara fem grader från zenit mitt på dagen och vädret är stabilt med klar sikt. Ett stycke under toppen av berget Pico de Teide (3 692 m) fanns en liten hydda, Alta Vista, på höjden 3 252 m. Denna plats blev huvudstation för Ångström, och mätningar gjordes från morgon till kväll på varierande höjd ända ner till havsytan. Ångström kunde ur resultaten ange värden på solstrålningens intensitet för olika skiktjocklek hos atmosfären. Det borde därmed vara möjligt att extrapolera ut till atmosfärens yttersta gräns, men detta förutsätter att man har kännedom om atmosfärens sammansättning och därmed absorptionen hela vägen ut. Mängden vattenånga och stoftpartiklar varierar med höjden över havet, vilket medför osäkerhet i beräkningen.

Atmosfärens sammansättning inverkar på solstrålningens absorption, inte så påtagligt i den synliga delen av spektrum, men desto mera i de ultraviolettera och infraröda områdena. Detta blev nu ett forskningsområde, där många engagerade sig. Förutom Knut Ångström bör här särskilt nämnas den amerikanske fysikern Samuel Pierpont Langley. År 1890 publicerade Ångström i Vetenskapsakademiens skrifter nya mätningar över koldioxidens och vattenångans absorption, som främst i det infraröda området är kraftig. I sin spektrometer använde han ett stensaltprisma, eftersom detta släpper genom långvågig infrarödstrålning. På denna tid fanns inga fotografiska plåtar för registrering av hela spektrum, varför han använde den gamla metoden med en bolometer. Med denna mäter man hur det elektriska motståndet hos en tunn metallstrimma ändras då metallen värms av strålningen. För koldioxid fann han i överensstämmelse med Langley kraftiga absorptionsband vid 2,7 och 4,3 μm .

I en senare uppsats beskriver Ångström ett instrument, en *spektrobolometer*, för automatisk registrering av infrarödspektrum. Registreringen skedde med en »bolometertråd», dvs. en tunn tråd som sakta förflyttades genom spektret. Motståndet hos denna tråd

registrerades med en känslig galvanometer. En ljusstråle, som reflekterades i galvanometerns spegel, fick träffa en fotografisk plåt. På den fotografiska plåten fick han en kurva, som visade ljusintensiteten (och därmed absorptionen) som funktion av ljusets våglängd. Han mätte absorptionsbanden från koldioxid och vattenånga. Vattenången svarade för den största absorptionen; den varierade kraftigt och hade maximum under sommaren. Ångström använde vidare instrumentet för mätning av absorptionen hos ozon i infrarött, något som han insåg hade betydelse för jordens energibalans. Detta framgår redan av titeln till hans artikel i *Arkiv för matematik, astronomi och fysik* år 1904: »Die Ozonbänder des Sonnenspektrums und die Bedeutung derselben für die Ausstrahlung der Erde.» Ångström diskuterade ozons absorption ute i ultraviolett, men han var mest intresserad av det infraröda spektret, där han registrerade ozonabsorption vid 4,8 μm och i området 9–10 μm . Han fann att absorptionen ligger i ett område, där vattenånga inte absorberar någon strålning. Ozonabsorptionen, som således inte påverkas av halten av vattenånga, inverkar däremot på den långvågiga strålning som lämnar jorden. Ångström framhåller i sin artikel, att ozon huvudsakligen bildas vid elektriska urladdningar i atmosfären, och då framför allt i de luftlager, där ingen vattenånga finns som kan överföra ozon till vätesuperoxid. Ozonhalten anser han därför vara störst i de översta luftlagren, samt dessutom öka med ökande latitud. Han spekulerar även i en direkt påverkan av solfläckarnas 11-års period på elektriska urladdningar och därmed ozonkoncentrationen. Ångströms allmänna kommentarer till sina mätningar är intressanta. Han skriver att här öppnar sig ett rikt och intresseväckande område för fortsatt forskning. Hur mycket ozon finns det i atmosfären och hur varierar ozonhalten? Vilka faktorer påverkar denna variation? Ångström hade verkligen funnit ett betydelsefullt forskningsområde, ett område som nu fått förnyad aktualitet genom rapporter om ozonhål m. m.

Langley utarbetade en säker och noggrann metod för beräkning av solarkonstanten genom bestämning av solens energispektrum vid olika solhöjder, men den fordrade invecklade och mycket dyrbara instrument. Ångström strävade efter att förenkla mätmetoderna. Han önskade enkla och pålitliga konstruktioner, som kunde ge god noggrannhet och samtidigt medge kontinuerlig mätning av solarkonstanten. I Vetenskapssocieteten *Nova Acta* år 1907 redogör han för en förbättrad metod för mätning av solarkonstanten. I korthet innebar denna att med färgfilter välja ut olika delar av solspektrum och mäta enligt gammal beprövad metod vid solens olika höjd på himlen.

Knut Ångström var säkert ivrig att pröva sina nya instrument under gynnsamma betingelser på Tenerife så som han gjort ett tiotal år tidigare. Våren 1909 bjöd han en kväll in alla specialisterna (den forskande personalen) i fysik, drygt tio varav tre kvinnliga, på en supé i prefektvillan. Kvällen inleddes med att Ångström höll föreläsning om sin ungdoms arbeten på Tenerife. Han ville nu göra en ny expedition dit tillsammans med sina elever för mätning av solstrålningen. Bägge mina föräldrar arbetade då som specia-

lister på Fysikum; min mor med sitt licentiatarbete och min far med doktorsavhandlingen. Ångströms förslag var ytterst lockande och min mor har i sina minnen beskrivit hur kvällen förflöt under hög och trevlig stämning. Alla tänkte säkert med glädje på en vetenskaplig resa till sydliga nejder.

Några mätningar på Tenerife blev det dock inte. Ångström skrev till spanska regeringen för att få tillstånd till en resa med sina vetenskapliga medhjälpare, men det blev avslag. De spanska fysikerna hade själva ett observatorium på Pico de Teide, och ville tydligen bedriva egen solforskning utan konkurrens från utomstående.

Radium

Knut Ångströms tid som professor sammanföll med en mycket expansiv period inom fysiken. Röntgens upptäckt av nya strålar skedde i slutet av 1895 och väckte omedelbar uppmärksamhet världen över. I Uppsala var man inte sen att ingående studera röntgenstrålarna. Urladdningsrör fanns tillgängliga och tillsammans med medicinare togs många röntgenfotografier. 1896 upptäckte Becquerel radioaktiviteten och inte långt senare kunde Pierre och Marie Curie isolera de radioaktiva grundämnena radium och polonium. Särskilt radium är kraftigt strålende under utveckling av värmeenergi. Curie och Laborde mätte 1903 en värmemängd av 100 kalorier per gram radium och timme, vilket utgör 0,12 W. Mätningar gjorda av andra forskare gav varierande resultat, varför Knut Ångström ansåg det vara motiverat att göra en egen mätning. Denna publicerades i det första bandet av Vetenskapsakademiens nya tidskrift *Arkiv för matematik, astronomi och fysik* 1903–1904. Från Soc. centrale de Produits Chimique à Paris hade den svenska nobelkommittén för fysik erhållit ca 100 mg radiumbromid. Preparatet stoppades ner i ett 5 mm hål i en liten kopparcylinder. I en exakt likadan kopparcylinder satte Ångström ner en elektrisk värmespiral. Denna cylinder kunde han värma till exakt samma temperatur, som den andra cylindern. Genom mätning av resistans och elektrisk ström kunde han bestämma den utvecklade effekten (6,9 mW). Omräknat till ett gram radium ger detta 0,14 W. Experiment utfördes under tiden september 1903 till april 1904. I artikelns slut anmärker Ångström att ingen minskning med tiden av värmeutvecklingen kunde märkas. Under de sju månaderna hade preparatet avgivit 345 000 kalorier (räknat per gram radiumbromid).

En andra rapport följer i band 2 (1905–1906) av »*Arkivet*». Ångström fann att nya mätningar under januari 1905 fortfarande gav samma värmeutveckling. Detta är inte att förvåna, eftersom halveringstiden för den aktuella radiumisotopen är 1 600 år!

Ångström hämtade själv hem preparatet med 100 mg radiumbromid från Paris. I början av 1900-talet hade man ännu inte förstått vilken förödande verkan strålningen kunde ha. Makarna Curie fick ju senare svåra strålskador inte minst på fingrarna. Pierre Curie bar ofta ett radiumpreparat i västfickan för att kunna visa upp för sina vänner. I dag, då vi blir upprörda över strålmängder

av några hundra becquerel per kilo renkött, kan det vara intressant att veta att det preparat Ångström tog hem från Paris (förvarat i västfickan) hade en strålning av två *miljarder* (inte miljoner) becquerel. Det är inte förvånansvärt att han fick omfattande brännskador på vänster brösthalva och vänster arm. Säkerligen utsatte han sig också för mycken strålning, då han upprepade Röntgens försök med de nya strålarna.

Det nya Fysikum

Lokalerna i »Gamla Kemikum», där både Anders Jonas och Knut Ångström utförde sina arbeten var dåligt lämpade för den precisioninriktade forskningen. Rummen var genomgångsrum, och det var svårt att finna goda platser för känsliga instrument. Med sin erfarenhet från Stockholms Högskola planerade Knut Ångström runt sekelskiftet för en helt ny fysikbyggnad i Uppsala. Ute i Europa och i USA byggdes vid denna tid många fysikinstitutioner, varför Ångström kunde få goda idéer i sin planläggning. En institution skulle innehålla tre delar för: 1) instrumentsamling och föreläsningssal, 2) laboratorier för professorns och specialisternas vetenskapliga undersökningar samt 3) lokaler för nybörjares övningar i experimentalfysik. Det måste finnas genomtänkta korridorsystem, så att de tre avdelningarna inte skulle störa varandra. Dessutom fordrades stabila underlag för vissa känsliga instrument. Vissa delar borde vara järnfria för magnetiska mätningar och det skulle finnas ett rum utrustat för konstant temperatur. Slutligen behövdes ett torn för spektralanalys och mätning av solstrålning. Byggandet blev dock fördröjt på grund av att en ny kemisk institution fick prioritet. Denna blev färdig sommaren 1904. Kemisterna var nu väl tillgodosedda och för dem var kontrasten stor vid jämförelsen med gamla Kemikum. Allt var nytt, fräscht och finputsat. Ett stort rum för kvantitativa analysens vägningar var t. ex. försett med en modern »Nernst lampa», vilket ansågs vara den bästa elektriska ljuskällan näst de stora bågglamporna. (I Nernst lampan finns en stav av en keramisk halvledare, zirkonium/yttriumoxid, som upphetas till glödning.) I övrigt utgjordes belysningen huvudsakligen av gasglödljus, auerbrännare. Uppsala hade ännu inte något elverk och auerljuset ansågs vara bäst och billigast.

Riksdagen beviljade 1905 anslag för den nya fysikinstitutionen, som äntligen kunde börja byggas, Fig. 9. Institutionen invigdes den 26 oktober 1908, varvid Knut Ångström höll ett föredrag där han beskrev den nya byggnaden med alla dess finesser. Föreläsningssalen kunde upplysas av fyra stora bågglampor. Elektriskt ljus förekom för övrigt bara i sal B11, dvs. rummet rakt framför huvudingången. Då det gällde belysning var Ångström (liksom många andra) inte helt övertygad om det elektriska ljusets framtid. Belysningen i institutionen utgjordes liksom på Kemikum av auerbrännare. Uppsala stad hade sedan 1860 ett gasverk som bland annat försåg stadens gator med belysning, men ett elektricitetsverk kom inte till stånd förrän 1906, samtidigt med att Fysikum började byggas. Elverket levererade endast likström. Trefas



Figur 9. Knut Ångströms fysiska institution, invigd den 26 okt. 1908. Tidigt foto (vykort).

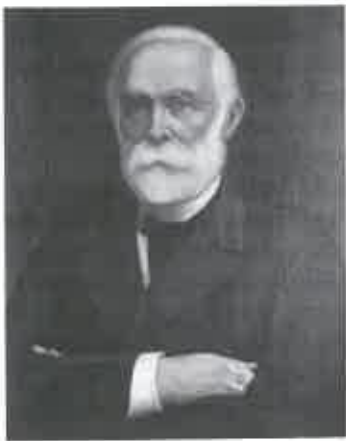
växelström från stadens elverk kom inte förrän på 20-talet. Växelström på institutionen fick man därför från en motorgenerator. Relativt få elektriska ledningar hade installerats, vilket sedermera vållade en hel del besvär med ledningsdragning. Lågspänning för vetenskapliga experiment erhöles från ett ackumulatorbatteri.

Den nya fysikinstitutionen betraktades som ett föredöme vad gäller allmän planering. »Främmande vetenskapsmän, speciellt de i hög grad sakkunnige Nobelpristagarna i fysik, som årligen besöka institutionen, loforda på det högsta den skicklighet och klokhet, hvarmed den planlagts och utförts.» Detta står att läsa i Nordisk Familjeboks 2:a upplaga under *Ångström, Knut Johan*. Kamerlingh Onnes, som fick nobelpriset i fysik 1913, kom dock inte till Uppsala. Onnes blev tyvärr så svårt förkyld att han fick hålla sig i sängen i Stockholm. Endast fru Onnes med son kom till Uppsala. Enligt min mor hade fru Onnes sin egen syn på institutionen: »På fysikum fann fru Onnes till sin förvåning ett laboratorium som var alldeles rent och fint och som alltså i högsta grad skilde sig från det dammiga Leiden-laboratoriet. Hon önskade att hennes man varit med, så att han kunnat få se att man kan hålla snyggt även på ett laboratorium. De hoppades att få komma tillbaka till Sverige en annan gång vid sommartid – men det blev aldrig av.»

Vid planläggningen av institutionen hade Knut Ångström god hjälp av Gustaf Granqvist, som senare efterträdde honom som professor. Institutionsbyggnaden har gjort god tjänst under åren och även kunnat anpassas till nya verksamheter under loppet av 1900-talet ända fram till byggandet av Ångströmlaboratoriet.

Fysikum, fysiker och fysiska sällskap

Vid 1800-talets slut var professorns ställning på en institution närmast auktoritär. Genom sin egen forskningsinriktning satte professorn helt sin prägel på verksamheten. I de första institutionerna vid mitten av 1800-talet hade han till och med sin bostad i direkt anslutning till laboratorierna, såsom var fallet på Gamla Kemikum. I princip kunde alltså professorn dygnet runt övervaka de



Figur 10. Tobias Robert Thalén (1827–1905). Professor i fysik 1874–1895. Porträtt på fysiska institutionen. Foto Teddy Thörmund.

känsliga apparaterna. Robert Thalén, som efterträdde Anders Jonas Ångström, tycks ha tagit denna sin uppgift på stort allvar. I stort sett endast han själv och hans elev framför andra, Knut Ångström, hade full tillgång till instrumenten. Det nya Fysikum byggdes enbart som institution, men professorn kunde fortfarande hålla ett vakande öga över verksamheten, eftersom han fick sin bostad i prefektvillan i nära anslutning till institutionen. Arbetstiden var noga avgränsad, och ännu på Gustaf Granqvists tid på 1910-talet tilläts kvällsarbete endast i nödfall och då efter särskilt tillstånd. Ett undantag utgjorde de från Knut Ångströms tid kvarvarande mätningarna av solstrålningens intensitet, vilka utfördes av en speciell »solarassistent». Sommartid kunde ett långvarigt högt tryck med ständigt solsken innebära en stor arbetsbörda. Enligt laborator Erik Bäcklin hände sig en tidig morgon att solarassistenten svimmade av utmattnings. Då han vaknade upp på golvet i tornrummet var det första han såg och hörde professor Granqvist med kommentaren: »Så var den här dagens observationer till ingen nytta.» Professorn hade från sitt fönster i prefektvillan konstaterat total avsaknad av aktivitet i Fysikums torn och därför tagit sig upp för att utröna orsaken.

Med Manne Siegbahn, som kallades till professuren 1922, infördes de friare arbetstider med arbete under eget ansvar, som gäller än i dag. Överhuvudtaget har utvecklingen gått mot friare vanor och seder, men ännu på 1940–50-talen var t. ex. titelbortläggning inte alltid självklar. Umgängesformerna har sedan blivit allt ledigare och numera är givetvis »Du» det naturliga tilltalsordet. I ett experimentellt ämne som fysik är verksamheten starkt beroende av skicklig verkstadspersonal, vilket ytterligare stärker samhörigheten. Under 60-talet blev det t. ex. naturligt att alla inbjöds till doktorsmiddagar. Så icke i seklets början. Då var doktorsmiddagen (liksom även promotionsmiddagen) en exklusiv herrtillställning; för övrigt ansågs det på den tiden vara väl vågat att bilda egen familj redan före disputationen.

Under Knut Ångströms tid var tillströmningen av studerande i fysik god och åtskilliga fortsatte som »specialister» med licentiat- och doktorandstudier på Fysikum. Det andra könet hade nu börjat tränga in på forskarbanan. Gulli Rossander (gift Petrini) disputerade redan 1901 som första kvinnliga fysiker. Vid inflyttningen till nya Fysikum 1908 fanns det inte mindre än tre kvinnliga specialister: Eva von Bahr, Eva Ramstedt och min mor. Eva von Bahr arbetade med gasblandningars absorption, särskilt absorptionen hos vattenånga och koldioxid, ett område som intresserade Knut Ångström. Då Eva von Bahr disputerade skedde givetvis ett avsteg från den gamla »herrtraditionen», så att även de kvinnliga specialisterna blev inbjudna. Eva von Bahr var för övrigt särskilt gynnad av Knut Ångström, och som en kuriositet nämner min mor att han efter disputationen faktiskt lade bort titlarna med Eva. Vaktmästare Lans (som de äldre av oss minns från 1940-talet) fick ibland assistera vid ordnandet av experiment, och han tyckte att det blev ett väldigt »Knutande och Evande».

Vid slutet av 1800-talet ingick inte högre undervisning med seminarier i universitetets normala verksamhet, men ryktet spreds

att man utomlands hade särskilda seminarier eller kollokvier, där man dryftade nya resultat inom fysikens frontlinjer. På uppdrag av Robert Thalén gjorde Claes Albert Mebius en resa till Tyskland för att studera verksamheten, och som resultat bildades Fysiska Sällskapet i Uppsala i november 1887. Även om professorn givetvis understödde sällskapets verksamhet överlät han ordförandeposten till en av specialisterna. Mebius blev sällskapets förste ordförande, och när han avgick 1891 var det naturligt att Knut Ångström (då laborator) efterträdde honom. Knut Ångström blev professor 1896, varvid Gustaf Granqvist övertog ordförandeposten.

Knut Ångström var en mästare i skriftlig och muntlig framställning. I Fysiska Sällskapet lade han fram många nya forskningsresultat, givetvis sina egna mätningar över solstrålning, men han rapporterade även om »becquerelstrålar», radiums värmeutveckling och flytande luft. Han redogjorde för Langleys och sina egna mätningar i det infraröda området. Röntgens nya X-strålar presenterades vid det första mötet efter nyåret 1896. Ångströms föreläsningar var föredömliga och han illustrerade dem ofta med experiment. Han författade även populärvetenskapliga artiklar, t. ex. om de nya röntgenstrålarna. Hans vetenskapliga uppsatser är väl disponerade och lättlästa; de avviker därmed fördelaktigt från hans faders ofta alltför koncist formulerade artiklar. Knut Ångström invaldes i Vetenskapsakademien 1893, blev medlem av nobelkommittén för fysik från dess början 1901 och var dess ordförande från 1905.

Knut Ångström var inte kroppsligt stark och hans svaga hälsa gjorde sig alltmer märkbar under hösten 1909. In på det nya året fick han en häftig blodstörtning och några veckor därefter, den 4 mars 1910 avled han. Det är inte osannolikt att den kraftiga strålning från både radioaktivitet och röntgen som han utsatts för kan ha medverkat till en alltför tidig död.

Arvet från Ångström

I äldre tider var det vanligt att vetenskapsmännen visade stor bredd i sin verksamhet. För Uppsalas del kan framför allt Olof Rudbeck nämnas. Hans stora mångsidighet är allmänt omvittnad. Jöns Svanberg, verksam i 1800-talets början, övergick som tidigare nämnts från en professur i matematik till ett prebendepastorat i Alunda. Anders Jonas Ångström visade även han stor mångsidighet; dock begränsade han sig till naturvetenskapen. Han började som astronom innan han övergick till ren fysik. Hans tidiga publikationer visar stor förtrogenhet med de flesta då kända fysikområden, även om han senare kom att koncentrera sig på spektroskopi, där hans insatser gjorde att den fysikaliska forskningen i Uppsala blev internationellt känd. Rektor Henrik Schück uttrycker detta i inbjudningsskriften till Gustaf Granqvists installation som professor 1910. Som företrädare på professuren nämner han Anders Jonas Ångström, Robert Thalén och Knut Ångström »genom vilka detta ämne blivit ett bland de mest betydande vid detta universitet och måhända det, som mer än något annat gjort Uppsalas namn på

den sista tiden känt och aktat i utlandet». Hans ord äger stor relevans också för den senare utvecklingen inom fysiken under 1900-talet, där Uppsala internationellt spelat en betydande roll, speciellt inom spektroskopi, och där framför allt inom röntgenområdet, men även inom kärn- och atomfysik. Välkända representanter är nobelpristagarna Manne och Kai Siegbahn.

Forskningens specialisering blev allt mer uttalad i och med den moderna fysikens utveckling. Kärnfysiken fick stor betydelse, men också andra delområden såsom atom- och molekylfysik och kondenserade materiens fysik inbjöd till fördjupade studier. Den samlade kunskapsmängden blev med tiden så stor att det inte längre var möjligt att i likhet med Anders Jonas Ångström i detalj behärska hela fysiken. I modern forskning får »personen Ångström» ersättas av ett konsortium av forskare, som var och en från sin nisch bidrar till ett effektivt samarbete. Man har blivit mer medveten om kopplingen till andra ämnesgrenar och därmed insett nödvändigheten av samverkan över ämnesgränserna; i själva verket är det ju faktiskt samma materia, som såväl fysiker som kemister, biologer och medicinare sysslar med.

I Uppsala har man sedan tjugotalet år bland annat skapat en forskningsprofil inom materialvetenskap, som i sig förenar åtskilliga av fysikens klassiska områden. Det skulle kunna ses som ett arv från Anders Jonas Ångström, som ju var inne på tanken att kunna teoretiskt samordna vitt skilda materialegenskaper, eftersom alla dessa på något sätt måste vara yttringar av materiens »molekyler» och deras vibrationer. Modern materialforskning omfattar ett brett spektrum av egenskaper, vilket med nödvändighet fordrar samverkan mellan många discipliner. Verksamheten omfattar en obruten kedja av grundläggande forskning från framställning av material med noggrann karakterisering till studium av flertalet materialegenskaper. Ofta är siktet även inställt på industriell tillämpning. Den senaste utvecklingen har inneburit att nya forskningsprogram initierats. Som exempel kan nämnas att man med anslag från Stiftelsen för strategisk forskning inom »Advanced Micro Engineering» skall ägna sig åt nya material samt komponenter (sensorer för t. ex. tryck, magnetfält, temperatur) i miniatyrformat, dvs. med storlek ner till mikrometer eller mindre. Stiftelsen för Miljöstrategisk forskning (MISTRA) och Närings- och Teknikutvecklingsverket (NUTEK) finansierar konsortiet »Ångström Solar Center» med direkt anknytning till arvet från Knut Ångström och hans studium av solstrålningens intensitet. Forskningsprogrammet upptar utveckling av solceller, energisparande fönster m. m. Projekt inom energirelaterad forskning över batterier och bränsleceller är anknutna till ett nationellt konsortium, även detta finansierat av MISTRA.

I de nya byggnaderna på Polacksbacken finns goda förutsättningar för framgångsrik interdisciplinär forskning. Fina traditioner, trivsamt miljö samt närhet mellan forskargrupper utgör en bra grogrund för ett fruktbarande samarbete i det nya Ångströmlaboratoriet.

Referenser

Levnadsteckningar och sammanfattande översikter

ANDERS JONAS ÅNGSTRÖM:

Robert Thalén: Anders Jonas Ångström, KVA lefnadsteckning, nr 47, 1875.

Knut Ångström: Anders Jonas Ångström, minnesteckning, Medelpads Fornminnesförening, Stockholm 1907.

Anna Beckman: Anders Jonas Ångström, Swedish Men of Science, editor Sten Lindroth, Stockholm: The Swedish Institute, 1952.

KNUT ÅNGSTRÖM:

Hugo Hildebrandsson: Knut Ångström, KVA årsbok 1913.

SAMMANFATTANDE ÖVERSIKTER:

Anna Beckman, Per Ohlin: Forskning och undervisning i fysik vid Uppsala universitet under fem århundraden, Acta Universitatis Upsaliensis, 1965.

Uppsala Stads Industriverk, Drätselkammaren i Uppsala, September 1966.

Arne Eld Sandström: Minnen från Fysikum, Fysiska Sällskapet 100 år, Uppsala Univ, 1987.

Arne Haglöf: Fysiska Sällskapet i Uppsala, 1887–1987, Fysiska Sällskapet 100 år, Uppsala Univ, 1987.

Sven Widmalm: Vetenskapens korridorer, Experimentalfysikens institutionalisering i Uppsala 1858–1910, Lychnos 1993.

Anders Märelius, Erik Noreland: The Proud Tower: Knut Ångström and the International Style of *Fin de Siècle* Physics Buildings. Ur »Center on the Periphery», editor Svante Lindqvist, Science History Publications/USA, 1993.

Vetenskapliga artiklar i avdelningen »Anders Jonas Ångström»

Arbeten publicerade av ANDERS JONAS ÅNGSTRÖM:

»Ueber die Molecular-Constanten der monoklinoedrischen Krystalle», Pogg. Ann. 86, 206–237, (1852).

»Optiska undersökningar», KVA Handlingar, s. 333–360 (1852) Även »Optische Untersuchungen», Pogg. Ann. 94, 141–165 (1855) samt »Optical Researches», Phil. Mag. 9, 327–342, (1855).

»Memoire sur la température de la terre à différentes profondeurs à Upsal», Nova Acta Reg. Scient. Ups (3), 1, 147–225 (1855).

»Neue Methode das Wärmeleitungsvermögen des Körpers zu bestimmen» Pogg. Ann. 114, 513–530 (1861).

»Ueber die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum», Pogg. Ann. 117, 290–302 (1862).

»Ueber das Wärmeleitungsvermögen des Kupfer und des Eisens bei verschiedener Temperaturen», Pogg. Ann. 118, 423–431 (1863).

»Nachtrag zu dem Aufsatz: Neue Methode das Wärmeleitungsvermögen der Körper zu bestimmen», Pogg. Ann. 123, 628–640 (1864).

»Neue Bestimmungen der Länge der Lichtwellen nebst einer Methode, auf optischen Wege die fortschreitende Bewegung des Sonnensystems zu Bestimmen», Pogg. Ann. 123, 489–505 (1864).

»Recherches sur le spectre solaire: spectre normal du soleil», Upsal, W. Schultz, 42 p. (1868).

»Spectrum des Nordlichts», Pogg. Ann. 87, 161–163 (1869); »Spectrum of the Aurora Borealis», Phil. Mag. 38, 246–247 (1869).

Övriga refererade arbeten:

GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF:

»Ueber die Fraunhofer'schen Linien», Pogg. Ann. 109, 148–150 (1860).

»Ueber das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht», Pogg. Ann. 109, 275–301 (1860).

»Zur Geschichte der Spektral-Analyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre», Pogg. Ann. 118, 94–111 (1863).

JOHN TYNDALL:

»On the Physical Basis of Solar Chemistry», Phil. Mag. 22, 147–156 (1861).

Vetenskapliga artiklar i avdelningen »Knut Ångström»

Arbeten publicerade av KNUT ÅNGSTRÖM:

»Die Ausdehnung des Wassers durch Absorption von Gasen», Wied. Ann. 15, 297–308 (1882).

- »Ueber die Diffusion der strahlenden Wärme von Ebenen Flächen«, Wied. Ann. 26, 253–287 (1885).
- »Beiträge zur Kenntniss der Absorption der Wärmestrahlen durch die verschiedenen Bestandtheile der atmosphäre«, Wied. Ann. 39, 267–293 (1890).
- »Beobachtungen über die Strahlung der Sonne«, Wied. Ann. 39, 294–311 (1890).
- »Eine Elektrische Kompensationsmethode zur quantitativen Bestimmung strahlender Wärme«, Nova Acta Reg. Scient. Ups. (3), 16, 8 p. (1893).
- »Über eine einfache Methode zur photographischen Darstellung des ultrarothern Spectrums«, Nova Acta Reg. Scient. Upsal (3), 17:1 (1896).
- »Intensité de la radiation solaire à différentes altitudes. Recherches faites à Tenneriffe 1895 et 1896«, Nova Acta Reg. Scient. Upsal (3), 20:I, 47 p., 7 Tab (1900).
- »Über das ultrarote Absorptions-Spektrum des Ozons«, Arkiv Mat. Astr. Fys. 1, 347–353 (1903/04).
- »Die Ozonbänder des Sonnenspektrums und die Bedeutung derselben für die Ausstrahlung der Erde«, Arkiv Mat. Astr. Fys. 1, 395–400 (1903/04).
- »Contributions à la connaissance de dégagement de chaleur du radium«, Arkiv Mat. Astr. Fys. 1, 523–528 (1903/04).
- »Contributions à la connaissance de dégagement de chaleur du radium, second note«, Arkiv Mat. Astr. Fys. 2:12, 7 p. (1905/06).
- »Méthode nouvelle pour l'étude de la radiation solaire«, Nova Acta Reg. Scient. Upsal (4), 1:7, 19 p., (1907).

Denna artikel har tidigare publicerats i Acta Universitatis Upsaiensis, Skrifter rörande Uppsala Universitet, C. Organisation och Historia, 60, Uppsala 1997.



OLOF BECKMAN, (f 1922) fil. dr och docent i fysik vid Uppsala Universitet 1955. Laborator 1963, professor 1968 i fasta tillståndets fysik, Uppsala Universitet, emeritus 1987.