SÄRTRYCK UR:

KOSMOS

ENHETER OCH NATURKONSTANTER

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDETS ÅRSBOK 2020

ÅNGSTRÖM OCH RYDBERG, PÅ PLATS I FYSIKHISTORIEN

© JOHAN MAURITSSON OCH ANNE-SOFIE MÅRTENSSON

Artikeln publiceras under Creative Commons-licensen CC BY-NC-SA 4.0
För bildmaterial med källhänvisning gäller samma upphovsrättsliga regler som för källan.

SVENSKA FYSIKER SAMFUNDET

En del svenskar har fått ge namn åt enheter eller naturkonstanter. Bland annat kan nämnas Anders Ångström och Janne Rydberg. Johan Mauritsson och Anne-Sofie Mårtensson skriver om dessa herrars liv och vetenskaplig gärningar och uppmärksammar att platserna för deras upptäcker ska hedras med minnesplaketter från europeiska fysikersamfundet.

Bilden: Till vänster Anders Ångström och till höger Janne Rydberg. Mellan dem vätes synliga emissionsspektrum. Se även i original-utförande på sid 177.

Johan Mauritsson

är professor i atomfysik vid Lunds universitet och vice ordförande i Svenska fysikersamfundet. Hans forskning går ut på att generera och kontrollera ultrakorta laserpulser för att studera elektrondynamik.
(Foto Kennet Ruona)

Anne-Sofie Mårtensson

arbetar med lärarutbildning vid Högskolan i Borås och Göteborgs universitet. Hon var under 2013 till 2018 Fysikersamfundets ordförande.

Ångström och Rydberg, på plats i fysikhistorien

Europeiska fysikersamfundet (The European Physical Society, EPS) har sedan 2011 genom utmärkelsen EPS Historic Sites valt ut byggnader och platser som förtjänar en särskild plats i fysikens historia. Två av dessa minnesmärken finns på svensk mark, Tycho Brahes Ven och Uddmanska huset i Kungälv där fissionen upptäcktes. Nu får dessa sällskap av ytterligare två: Gamla Chemicum i Uppsala, där Anders Ångström verkade och använde den längdenhet som sedan fått namn efter honom, och Gamla Fysicum i Lund, där Janne Rydberg tog fram den formel och den konstant som idag bär hans namn.

Hela 55 platser finns nu med på den karta över fysikhistoriska minnesmärken, EPS Historic Sites, som Fysikersamfundets europeiska motsvarighet tagit fram. Beslutet att på detta sätt uppmärksamma laboratorier, byggnader, institutioner, universitet eller städer som varit betydelsefulla för fysikens utveckling togs av styrelsen för EPS år 2011. Därefter har en kommitté (sedan 2018 med svenske fysikhistorikern Karl Grandin som ordförande) haft i uppgift att välja ut vilka platser som ska få utmärkelsen. Nationella samfund och enskilda medlemmar kan lämna in nomineringar till kommittén som sedan tar ställning till om den föreslagna platsen uppfyller de krav som ställs: Är den förknippad med en händelse, en upptäckt, ett forskningsresultat eller arbete som har gett ett bestående bidrag till fysikens utveckling? Är svaret ja väntar en festlig invigning då platsen märks ut med en plakett.

Idag finns minnesplaketter utplacerade från Moskva i öster till Princeton i väster, från Palermo i söder till norrskenets Alta i norr. Den allra första platsen som, år 2012, utsågs till ett fysik-

historiskt minnesmärke var Guldfiskfontänen i Rom, vars vatten Enrico Fermi använde för sitt arbete med termiska neutroner i fissionsprocesser. Lämningarna efter Tycho Brahes observatorier på ön Ven, Uranienborg och Stjärneborg, invigdes som sjunde minnesmärke i september 2013, och blev därmed den första svenska platsen på den fysikhistoriska kartan. Tre år senare, i samband med Fysikdagarna i Göteborg, var det dags för nästa svenska invigning: Uddmanska huset i Kungälv. Det var i detta hus som Lise Meitner och hennes brorson Otto Robert Frisch tillbringade julen 1938 och insåg att atomkärnor kunde klyvas.

Nu har alltså ytterligare två svenska nomineringar accepterats av EPS kommitté för fysikhistoriska minnesmärken: Gamla Chemicum i Uppsala och Gamla Fysicum i Lund. I den förra byggnaden arbetade Anders Ångström när han införde den enhet för ljusvåglängd som fått namn efter honom, och i den senare verkade Janne Rydberg när han tog fram den formel för att beskriva atomspektra som innehåller den konstant som nu bär hans namn. På grund av den rådande coronapandemin 2020 har dock själva invigningarna av platserna fått skjutas upp tills dess det åter är möjligt att låta dem inramas av de festligheter som hör till. Men en presentation av platserna och de gärningar som är förknippade med dem låter sig göras och passar väl in i detta temanummer av Kosmos: Ångström och Rydberg; en enhet och en konstant som båda lämnat bestående avtryck i fysikhistorien.

Anders Ångström, en av grundarna till den optiska spektroskopin

Anders Ångström, figur 1, föddes i Medelpad år 1814. Hans far, Johan Ångström, var bruksprediknant vid Lögdö bruk, men släkten härstammade från Ånge, den ort varifrån familjenamnet är taget. Efter studier vid Härnösands läroverk kom Anders Ångström år 1833 till Uppsala för att studera matematik och fysik och han försörjde sig under studietiden som informator. 1839 presenterade han avhandlingen *Om conisk refraktion* och promoverades till filosofie magister. Ett år senare lade han fram ytterligare en

Figur 1. Anders Ångström. Foto: Mathias Hansen (urn:nbn:se:alvin:portal:record-87747)

Figur 2 Chemicum (numera Philologicum). Anders Ångströms tjänstebostad och det fysiska kabinettet låg på tredje våningen, men Ångström arbetade även i tornet. Foto från 1860-talet av Per Hanselli (urn:nbn:se:alvin:portal: record-88192)

avhandling inom optik och antogs som docent i fysik. Ångström var dock verksam inom flera vetenskapliga områden och var bland annat anställd som adjunkt vid Stockholms observatorium och som examinator i matematik vid studentexamen. Han gjorde även studieresor utanför Sverige; bland annat fick han stipendium för att kunna resa till observatoriet Bogenhausen i München och lära sig mäta jordmagnetismen och störningar i magnetfältet. På vägen tillbaka till Sverige mätte han upp jordmagnetismen i bland annat Paris, Bryssel, Göttingen och Köpenhamn, och han hade därefter under ett antal somrar ambitionen att systematiskt kartlägga de jordmagnetiska förhållandena i hela Sverige.

År 1858 utnämndes Anders Ångström till professor i fysik vid Uppsala universitet. Eller i klartext: Det fanns *en* sådan tjänst i Uppsala och den fick Ångström efter det att företrädaren Adolf Svanberg gått bort. Helt okontroversiell var inte utnämningen. Formellt var kronprinsen Carl (som så småningom blev kung Carl XV) universitetskansler och hans uppfattning var att Ångström inte var populär bland kollegor och studenter. Ångströms stöd i fakulteten var dock starkt, med översvallande positiva utlåtanden om hans meriter och förmåga, och övriga sökande drog tillbaka sina ansökningar.

Två år senare fick fysikerna flytta in i den nya byggnaden för de ”exakta vetenskaperna”, Chemicum (se figur 2), och ta i bruk

betydligt mer ändamålsenliga lokaler än tidigare. Här fanns också på översta våningen en tjänstebostad där Ångström kunde bosätta sig med sin familj.

I Chemicum kunde Ångström inreda ”det fysiska kabinettet” med modern utrustning inköpt under resor till Tyskland och Frankrike. Nu blev det möjligt att låta studenterna få laborera – ett nytt grepp inom universitetsutbildningen. Till kabinettet införskaffades också en kilogram- och en meternormal. Den sistnämnda visade sig dock vara för kort, något som förstås påverkade de våglängder Ångström mätte upp; mer om detta nedan.

Under sin tid som professor kunde Ångström se en kraftig expansion av fysikämnet och han var starkt pådrivande i denna utveckling, liksom i förvandlingen av universitetets organisation. Han var rektor för Uppsala universitet läsåret 1870/71 och dessförinnan ordförande i dess drätselnämnd, vilket innebar ett huvudansvar för universitetets ekonomi.

Ångström valdes in som ledamot i flera akademier och lärda sällskap, däribland Royal Society, vars Rumfordmedalj han som förste svensk tilldelades år 1872. Ångström var också verksam utanför akademin, bland annat som ledamot av Uppsala stadsfullmäktige. I juni 1874, strax innan han skulle fylla sextio, avled Anders Ångström i hjärnhinneinflammation.

Uppsala universitets matematiska och naturvetenskapliga institutioner inryms sedan 1997 i det komplex på Polacksbacken, Ångströmlaboratoriet, som fått namn efter Anders Ångström och hans son Knut Ångström, också han verksam som professor i fysik vid universitetet.

Solljusets spektrum och enheten ångström

Internationellt är det främst som en av pionjärerna inom spektralanalysen som Anders Ångström är känd. I *Recherches sur le spectre solaire* (1868), redogör Ångström för en mycket noggrann bestämning av våglängderna hos de Frauenhoferska linjerna; ett mångårigt arbete som han genomfört tillsammans med Robert Thalén, vän och nytillträdd adjunkt i fysik och mekanik i Uppsala.

Solens yta är en svartkroppsstrålare och det synliga solljuset borde därför visa upp ett kontinuerligt spektrum när dess olika våglängder separeras av prismor eller gitter. Redan år 1802 upptäckte dock den brittiske fysikern William Hyde Wollaston att det finns mörka linjer i solljusspektret, något han dock inte fäs-

Figur 3. Anders Ångströms spektrometer. Teckningen finns i Ångströms centrala verk från 1868, Recherches sur le spectre solaire.

te någon större vikt vid. Det gjorde däremot den tyske fysikern och instrumentmakaren Joseph von Fraunhofer, som utvecklade diffraktionsgittret och därigenom kunde förbättra spektralupplösningen avsevärt. År 1814 publicerade han en systematisk studie av linjerna och det är efter honom som dessa fått sitt namn.

Upptäckten av linjernas ursprung, att det är atomer i solens atmosfär som absorberar ljus med våglängder karakteristiska för varje enskilt grundämne, tillskrivs[1] tyskarna Gustav Kirchoff och Robert Bunsen, fysiker respektive kemist. Arbetet publicerades i *Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der Chemischen elemente* som utkom år 1860. Nu öppnades porten till spektralanalysen på vid gavel; här fanns ett verktyg med vilket man kunde bestämma inte bara vilka element som tagits in i laboratoriet utan element var helst ifrån som det gick att se ljus. Det var denna skrift som inspirerade Anders Ångström att med högsta möjliga noggrannhet bestämma våglängden för alla de Fraunhoferska linjerna.

Det är ett gigantiskt arbete där nästan tusen spektrallinjer mäts upp. Ångström anger våglängderna i hundramiljondels centimeter, det mått som senare kommer att bära hans namn. I tidigare arbeten har han istället utgått från delar av enheten parisertum.

Den spektrometer som Ångström använde (se figur 3) kom

1 Ångström menade dock att han i Optiska undersökningar (1853) hade föregripit Kirchoffs och Bunsens slutsatser.

från firman Pistor & Martins i Berlin, och våglängdsbestämningarna sker med hjälp av två olika gitter. De starkaste linjerna bestäms med båda gittren. Övriga mäts upp med bara det som har den största gitterkonstanten och bestäms därefter relativt de starkare linjerna.

Men det har dykt upp ett försmädligt systematiskt fel i våglängdsbestämningarna. Längst bak i *Recherches sur le spectre solaire* visar ett appendix hur Anders Ångström på hösten 1866 tagit den uppsaliensiska meternormalen till Paris för att få den uppmätt mot den meterprototyp i platina som finns vid *Conservatoire Impèrial des arts et mètiers* och Uppsalas meterstav befanns då vara 0,19 millimeter för kort, vilket Ångström korrigerar för. En ny kalibrering 1872 visade dock att detta inte stämde. Den var istället 0,11 millimeter för kort, och alla Ångströms våglängder har därför angivits med ett fel på ungefär 0,013 procent. Ångström själv hinner inte justera värdena utan detta görs först efter hans död.

År 1905 slog Solarkongressen i Oxford fast att den enhet Ångström använde ska kallas ångström och förkortas Å. Två år senare införs den formellt av Internationella astronomiunionen och 1927 upptas den av *International bureau of weights and measures*. När SI-systemet infördes 1960 tas den officiellt ur bruk men än idag är enheten ångström en mycket vanlig enhet inom spektroskopi.

Janne Rydberg och grunderna till vår kunskap om atomernas byggnad

I motsats till Anders Ångström, som var experimentalist, var Johannes (Janne) Rydberg (se figur 4) mer teoretiskt lagd. Han disputerade först med en matematisk avhandling och blev docent i matematik år 1879. Det var först ett par år senare som han lade fram ett arbete om friktionselektricitet för en docentur i fysik, som han sedermera också fick år 1882. När Rydbergs intresse för fysiken väcktes hade Anders Ångström redan gått bort och kopplingen mellan de båda kommer framförallt av att Rydberg använde Ångströms mätningar

Figur 4. Porträtt av Johannes (Janne) Robert Rydberg

i väte för att beräkna värdet på den konstant som idag bär hans namn. Det finns ytterligare en koppling och det är att Anders Ångströms son, Knut Ångström, vilken som tidigare nämnts också var professor i fysik i Uppsala, var en av de sakkunniga som senare kom att granska Rydbergs ansökan till en professur 1897, men vi återkommer till det.

Redan tidigt i sina studier greps Rydberg av det intresse för grundämnenas periodiska system som han återkom till gång på gång under hela sitt yrkesliv. Den bestående insats som Rydberg gjorde för vetenskapens utveckling och som vi förknippar honom med (framförallt formeln och konstanten som idag bär hans namn) kan nästan ses som en delstudie i hans studier av det periodiska systemet. När Rydberg gjorde sina upptäckter var begreppet atom fortfarande mycket vagt, men han insåg att de spektrallinjer som uppmättes och som var olika för olika ämnen kunde hjälpa honom vidare i hans studier av ämnenas periodicitet. Ångström hade bland annat studerat väte med mycket hög precision (5 siffrors noggrannhet) och använde då spektralanalysen som Bunsen och Kirchhoff utvecklade under 1850-talet. Med sin nyutvecklade teknik studerade Bunsen och Kirchhoff flera olika grundämnen och upptäckte samtidigt två nya, cesium och rubidium, ämnen som Rydberg senare kom att studera ingående. Som ung docent tog sig Rydberg an det digra arbetet att sortera och strukturera det redan då stora, men också bristfälliga, material som fanns med spektrallinjer uppmätta från olika grundämnen. Rydberg tyckte om siffror och kombinatorik och hävdade bestämt att spektralanalysen var rätt väg att gå för att bättre förstå atomernas periodicitet. I sitt stora verk från 1890 skriver han:

> *”Det först uppsatta målet för undersökningen bestod i att finna ett förfarande, enligt hvilket man kunde finna sambandet mellan linjerna i ett och samma spektrum för att kunna beräkna alla linjerna i detta spektrum, om man kände ett begränsat antal. Sedan måste motsvarande undersökningar göras i andra spektra för att skilja ut skenbara lagbundenheter i ett spektrum från sådana som äro gemensamma för alla spektra. Detta skulle visa, om alla spektra periodiskt ändra sig med atomvikten, så som man från början borde kunna förutsätta”.*

Figur 5. Huset som Fysiska institutionen flyttade till 1885. (Foto: Johan Mauritsson.)

Det var ett mäktigt arbete som han tog sig an, men det ledde till slut fram till en formel som beskriver hur spektrallinjerna ser ut i flera olika ämnen och som Niels Bohr sedan kunde förklara med hjälp av kvantmekaniken.

Från Halmstad till Rydbergs formel

Johannes (Janne) Robert Rydberg föddes den 11 november 1854 i Halmstad. Jannes far dog tidigt och familjen hade ganska tuffa ekonomiska förutsättningar, men trots det fick Janne möjlighet att studera, först vid Halmstads läroverk och sedan som student i Lund, där han skrevs in 1873 (fil. kand. 1875 och fil. lic. 1878). Han var en duktig student och förordnades 1876 till amanuens på fysiska institutionen, som då låg tillsammans med zoologiska institutionen i det som idag är det historiska museet bredvid domkyrkan. Även om han arbetade som amanuens på fysiska institutionen var det matematik som var hans huvudämne och 1879 disputerade han med avhandlingen ”*Konstruktioner af kägelsnitt i 3- och 4-punktskontakt*”. Senare samma år lade han fram avhandlingen *”Om algebraiska integraler till algebraiska funktioner”* och tack vare dessa två arbeten blev han docent i matematik 1880. 1882 blev han även docent i fysik och han påbörjade sitt arbete med att finna en underliggande struktur och ett samband mellan spektrallinjer och hur dessa ändras mellan olika ämnen.

Undersökning

öfver

byggnaden af grundämnenas

linie spektra

af

J. R. Rydberg

(Kortfattad öfversigt af hittills erhållna resultat).

A. Serier af spektrallinier.

1. Hvarje hittills undersökt linie spektrum ger flere serier af spektrallinier, hvilkas våglängder eller svängningstal äro funktioner af de konsekutiva hela talen.

2. Om n är svängningstalet på någon viss tid, m ett helt tal > 1 och n_0, m_0, C konstanter, så uttryckes hvarje serie med stor approximation genom formeln

$$n = n_0 - \frac{C}{(m+m_0)^2},$$

då m får antage alla heltalsvärden > 1.

Del av Rydbergs ansökan från 1887.

Som ung amanuens 1881-1882 åkte Rydberg runt i Europa för att ta reda på vilken utrustning som behövdes till det nya Fysicum som nu skulle byggas och som stod klart 1885. Byggnaden användes av den fysiska institutionen fram till 1950 och är nu den plats som uppmärksammas som en EPS Historic Site, se figur 5. Samma år som det nya Fysicum stod klart för inflyttning skickade Rydberg in en ansökan till Kungliga Vetenskapsakademin (och det Wallmarkska priset) för att kunna göra *"undersökningar öfver de kemiska grundämnenas natur och egenskaper"*. Han fick inga medel då, men det är tydligt att han inte blev för nedslagen av beslutet, utan han fortsatte med sitt arbete. När han två år senare skickar in en ny ansökan till Kungliga Vetenskapsakademin om finansiering framgår det att han hade arbetat flera år på problemet och i princip finns allt redan klart[2]. I ansökan ber Rydberg om

2 Det är tydligt att det på 1800-talet fanns samma problematik inom forskningsfinansieringen som vi ser idag – ska lovande eller redan genomförd forskning finansieras?

medel för att fortsätta sina studier av spektrallinjerna i alkalimetallerna och sammanfattar vad han har funnit:

> *1. Hvarje hittills undersökt linjespektrum eger flere serier af spektrallinier, hvilkas våglängd eller svängningstal äro funktioner af de konsekutiva hela talen.*
> *2. Om n är svängningstalet på någon viss tid, m ett heltal >1 och n_0, m_0 och C konstanter, så uttryckes hvarje serie med stor approximation genom formeln*
>
> $$n = n_0 - \frac{C}{(m + m_0)^2}$$
>
> *då m får antaga alla heltalsvärden >1.*
>
> *3. Konstanten C är gemensam för alla ämnens alla serier. Konstanterna m_0 och n_0 vexla från serie till serie och från ämne till ämne.*

1888 presenterar Rydberg sina resultat vid ett sammanträde i Matematisk-Fysiska Föreningen i Lund och här formulerade han om ekvationen till det mer välkända formatet:

$$\frac{n}{N_0} = \frac{1}{(m_1 + C_1)^2} - \frac{1}{(m_2 + C_2)^2}$$

Den här ekvationen finns över den föreläsningssal på dagens Fysiska institution som idag bär hans namn. Eftersom rapporten är skriven av sekreteraren på institutionen är det hennes handstil som syns här, men det är möjligt att det är Rydberg själv som skrev ekvationen i ansökan året innan. Konstanten N_0 har senare fått namnet Rydbergs konstant, och Rydberg trodde att denna konstant är densamma för alla grundämnen. Det har senare visat sig att Rydbergs formel fungerar bäst för väte och vätelika joner och att ”konstanten” varierar något. Den är minst i väte, där den betecknas R_H och ökar sedan för tyngre vätelika joner, där den går mot R_∞ . Om man också tar hänsyn till den effektiva kärnladdningen och kvantdefekten så fungerar Rydbergs formel mycket bra även för atomer som har en ensam yttersta elektron utanför slutna skal, till exempel alkalimetaller. Det var också sådana grundämnen som Rydberg framförallt studerade (vi återkommer till betydelsen av konstanterna C_1 och C_2).

Janne Rydbergs 100-årskonferens

1954 arrangerades en konferens i Lund med anledning av Janne Rydbergs 100-årsjubileum. Bland deltagarna kan speciellt noteras två fysiker som redan vid tillfället för konferensen hade fått Nobelpriset i fysik (ytterligare 4 av konferensdeltagarna fick senare Nobelpris i fysik och en i kemi). Dessa två var Niels Bohr och Wolfgang Pauli. Niels Bohr blev den som till slut lyckades förklara varför Rydbergs ekvation är korrekt och Wolfgang Pauli kunde med sin uteslutningsprincip förklara det periodiska systemets uppbyggnad, en periodicitet som hade sysselsatt Rydberg hela hans yrkesverksamma liv.

De två Nobelpristagarna Niels Bohr och Wolfgang Pauli studerar en så kallad "TippeTop" i Lund. (Hagblom foto)

Det är svårt att veta om Rydberg kände till Johann Jakob Balmers resultat från 1885, där Balmer presenterade en formel som beskriver de synliga övergångarna i väte. Balmers empiriska formel baserades på Ångströms noggranna mätningar av spektrallinjerna i väte. Bengt Edlén hävdar i en artikel i Kosmos 1954, med viss emfas, att Rydberg inte kände till Balmers resultat. Han baserar sitt resonemang på att Rydberg till att börja med försökte hitta en formel utan kvadraten i nämnaren. Om Rydberg hade känt till Balmers formel borde han redan från början ha letat efter ett uttryck på liknande form. Oavsett om Rydberg kände till Balmers resultat eller inte så går det att visa att Balmers formel är ett specialfall av Rydbergs formel där det ena *m*:et är 2 och de båda konstanterna C_1 och C_2 är noll. De båda konstanterna C_1 och C_2 förklarades senare bero på den så kallade kvantdefekten; en feno-

menologisk korrigering som är som störst för de alkalimetaller som Rydberg studerade, men noll för väte.

Både Rydberg och Balmer var intresserade av siffror och kombinatorik och deras formler beskriver mycket väl uppbyggnaden av de spektralserier som de studerade, men ingen av dem kunde förklara varför formlerna såg ut som de gjorde. Det var först Niels Bohr som lyckades med den bedriften, när han 1913 bidrog till grunden för kvantmekaniken och utifrån sina postulat kunde härleda Rydbergs formel (och därmed även Balmers). Även om inte Rydberg kunde förutspå kvantmekaniken är det tydligt att hans formel pekar mot en skillnad, en övergång, mellan två nivåer. Idag skriver vi ofta Rydbergs formel för väte på följande form:

$$\frac{1}{\lambda} = R_{\mathrm{H}}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad .$$

För vätelika joner (joner med bara en elektron) multipliceras högerledet med kärnladdningen i kvadrat, Z^2, och Rydbergs konstant måste räknas om. För atomer som har en enda yttre elektron utanför slutna skal måste också kvantdefekten inkluderas. Bohr kunde inte bara härleda formeln för väte med hjälp av sina postulat, han kunde också koppla Rydbergs konstant till andra kända konstanter:

$$R_\infty = \frac{m_{\mathrm{e}}\, e^4}{8\, \varepsilon_0^2\, h^3\, c} \quad .$$

Att Rydbergs konstant för väte är mindre än R_∞ beror på att elektronens massa inte är försumbar jämfört med protonens, vilket påverkar de båda partiklarnas rörelse kring den gemensamma tyngdpunkten och Rydbergs konstant för väte får därför korrigeras enligt:

$$R_{\mathrm{H}} = \frac{m_{\mathrm{p}}}{m_{\mathrm{e}} + m_{\mathrm{p}}}\, R_\infty \quad ,$$

där m_{e} är elektronens massa och m_{p} protonens. Givetvis ändras Rydbergs konstant även för andra ämnen än väte, men korrektionen blir mindre och mindre när kärnans massa ökar[3].

Att Rydbergs konstant går att beräkna utifrån ett antal andra grundläggande konstanter (elektronens laddning, elektronens massa, den elektriska konstanten, Plancks konstant och ljusets hastighet i vakuum) gör det viktigt att mycket noga kunna mäta

3 För exotiska atomära system, som till exempel positronium, är korrektionen mycket liten.

värdet av konstanten. Idag är Rydbergs konstant den näst bäst uppmätta konstanten. Det är bara finstrukturkonstanten som har blivit uppmätt noggrannare. Det bästa erkända värdet på Rydbergkonstanten är:

$$R_\infty = 10\,973\,731{,}568\,160\ \mathrm{m}^{-1} \quad .$$

Det kan nämnas att Rydberg i sin ansökan till Kungliga Vetenskapsakademin angav värdet:

$$C = 109\,721{,}62\ \mathrm{cm}^{-1} \quad ,$$

där avvikelsen från dagens värde märks först i femte värdesiffran.

Extraordinär i Lund och lite vild i Europa

Rydbergs stora avhandling *”Recherches sur la Constitution des Spectres d’Émission des Èlémentes Chimiques”* som presenterades 1890 togs emot mycket väl i övriga Europa, men hemma i Sverige behandlades Rydberg relativt frostigt, trots (eller kanske på grund av) att han vid det här laget var Sveriges mest kända fysiker. När han sökte en professur i Lund (han var då tillförordnad professor vid lärosätet) fick han den inte, bland annat på grund av ett utlåtande från Knut Ångström, som var en av de sakkunniga som granskade ansökningarna.

> *”Docent Rydbergs författarverksamhet har varit mycket stor, hans experimentella arbeten temligen obetydliga och knappast ensamt torde kunna till fullo styrka Docent Rydbergs skicklighet som experimentalfysiker.”*

Ångström lyfter sedan fram att Rydbergs resor i Europa som amanuens, och att han som tf. professor haft ansvaret för de fysiska laborationsövningarna, nog kan räcka för att visa att Rydberg var en tillfredsställande experimentator. Efter sitt utlåtande rankar Knut Ångström Rydberg på tredje plats bland ansökningarna.

Att Rydberg inte själv mätt upp de spektrallinjer som han använde sig av när han tog fram sin formel återkommer de svenska sakkunniggranskarna och medlemmar av konsistoriet till. Efter flera intyg från internationellt erkända fysiker om vikten av Rydbergs arbeten så tillstyrker till slut konsistoriet, prokanslern och kanslern hans utnämning till professor. Men när beslutet kom i september 1900 visade det sig att ingen av de tre högst rankade

Idag återfinns namnet Rydberg på flera ställen inom atomfysiken, till exempel:

Rydbergs konstant
Energienheten 1 Ry (1 Ry = 13,6 eV)
Rydbergs korrektion
Rydbergs formel
Rydbergs jonisations-spektroskopi
Rydbergatomer
Rydbergtillstånd
Rydbergmateria
Rydbergmolekyler
Rydberg-Klein-Rees metod
Rydberg-Ritz kombination-princip

sökande fick tjänsten. Konungen utnämnde istället Victor Bäcklund till professor; denne utnämndes på grund av sitt stora anseende i Sverige, utan att hans ansökan hade granskats eller jämförts med de övriga sökande. En av Bäcklunds första åtgärder blev att se till att Rydberg istället år 1901 fick titeln extraordinär professor, en tjänst som omvandlades till professor först 1909, när tjänsten extraordinär professor försvann (efter att riksdagen 1908 beslutat att ändra universitetsstatuterna). Rydberg valdes heller aldrig in i Kungliga Vetenskapsakademin.

I övriga Europa var tonerna annorlunda. Vid sekelskiftet rådde enighet om att all vidare spektralanalys tar sin början i Rydbergs formel och beskrivning. Hans rykte i utlandet var bättre än bland svenska fysiker. Wolfgang Pauli skriver om honom att hans idéer ibland kunde vara lite vilda och denna vildhet, eller djärvhet, var en av hans styrkor som forskare. Pauli själv var också en djärv forskare med vilda idéer och blev till slut den, som med hjälp av uteslutningsprincipen, knäckte nöten som Rydberg funderat på hela livet: varför har det periodiska systemet den struktur som det har? Tyvärr kom detta genombrott först 1925, alltså några år efter det att Rydberg gått bort år 1919.

Mätningar och mönster

Vi kan se fram mot att snart få inviga två nya svenska fysikhistoriska minnesmärken, ett i Uppsala och ett i Lund, nära sammanlänkade i det stora bygge som kvantmekaniken utgör. Det var i solljuset, eller snarare i det som saknas i solljuset, som den första nyckeln till förståelsen för regelbundenheterna i atomernas uppträdande hittades. Två svenska fysiker, Anders Ångström och Janne Rydberg, har genom noggrant mätande respektive listigt mönstersökande var för sig lämnat bestående bidrag till konstruktionen. Vi får hoppas att solen har förstånd att lysa alldeles extra över de förestående festligheterna! ❖

För vidare läsning

O. Beckman: *Ångström - far och son*, Kosmos 1997, s. 17 (1997)

Bengt Edlén, *J. R. Rydbergs vetenskapliga gärning*, Kosmos 1954, s. 9 (1954)

Carl Frängsmyr, *Anders Ångström 200 år*, Vårpromotionen 2014, s. 25 (2014)

P. C. Hamilton, *Janne Rydberg: A physicist in 19th-Century Sweden*, (Diss. Cambridge, Mass. : Harvard, Univ. [Cambridge, Mass.]) (1992)

Arvid Leide, *Janne Rydberg och hans kamp för professuren*, Kosmos 1954, s. 15 (1954)

J. R. Rydberg, *Ansökan till Kongl. Svenska Vetenskaps-Akademien*, (1887)

J. R. Rydberg, *Recherches sur la Constitution des Spectres d'Émission des Èlémentes Chimiques*, (1890)

A.-J. Ångström, *Recherches sur le spectre solaire: spectre normal du soleil*, (UPSAL, W. Schultz, imprimeur de l'université) (Kungliga vetenskapsakademiens handlingar; Vol. 23, Nr. 11) 1868

Herrarna Ångström och Rydberg i originalutförande.