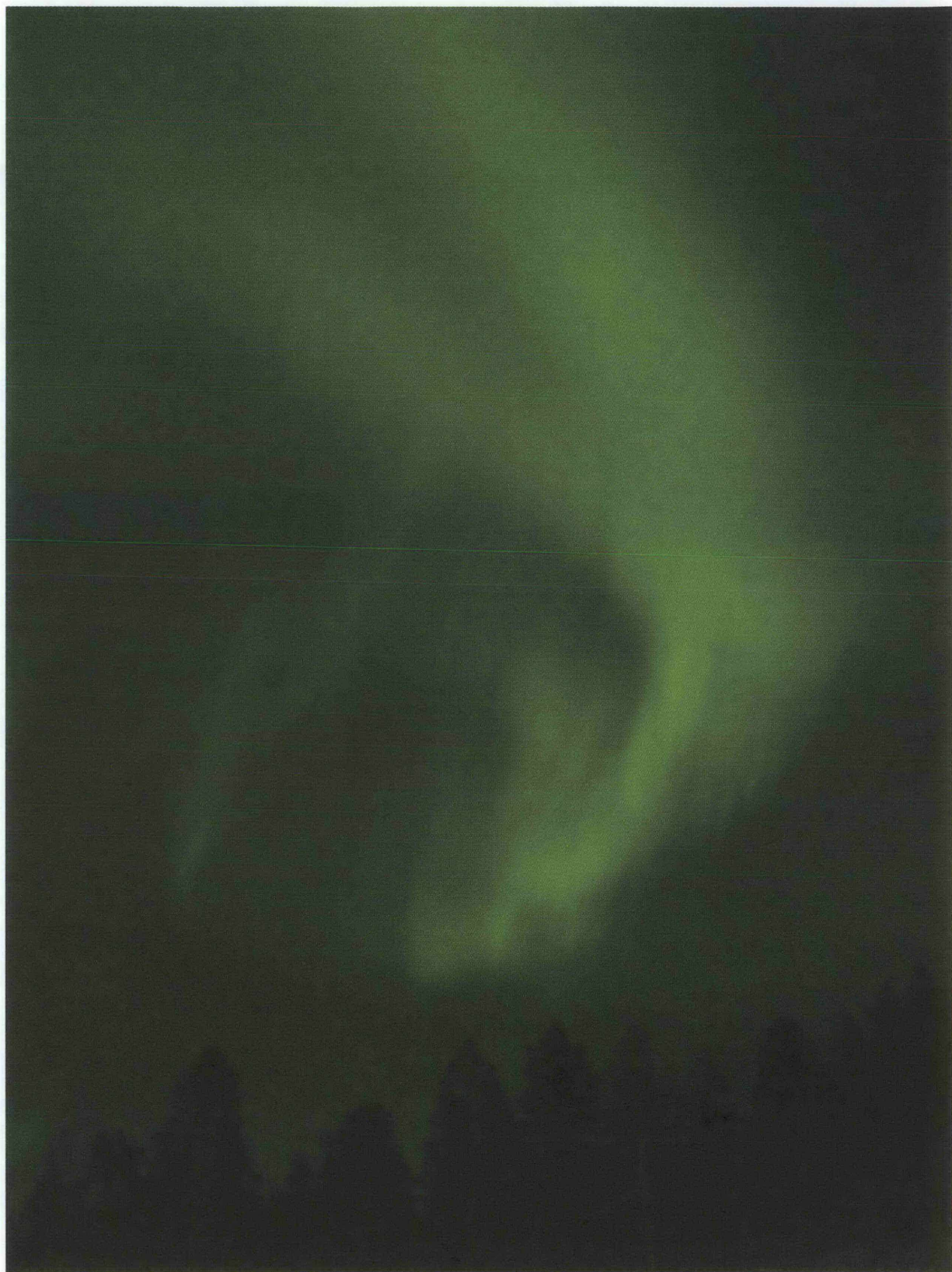




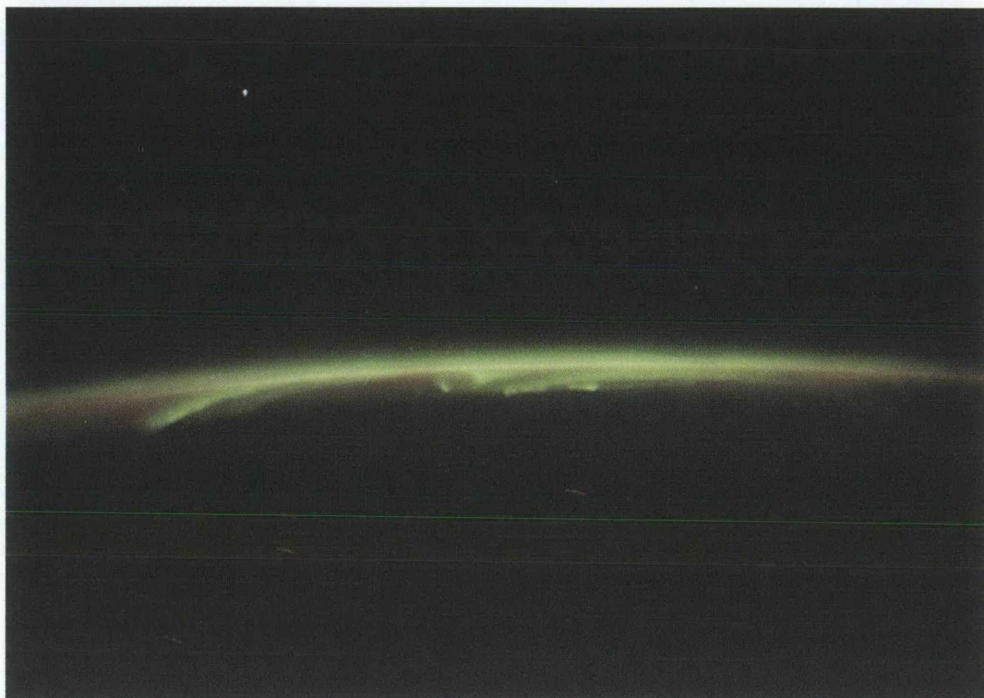
Norrskensforskning från Fuglesang till Celsius

Rick McGregor

DE FLESTA VET NOG ATT DEN FÖRSTA svenska astronauten, Christer Fuglesang, i december 2006 utförde tre rymdpromenader under sin vistelse på den internationella rymdstationen ISS. Men bland hans övriga uppdrag fanns ett som var av särskilt glädje för norrskensforskarna vid Institutet för rymdfysik, IRF, i Kiruna. Ombord på rymdstationen finns en digital systemkamera med vidvinkelobjektiv och med hjälp av den har Fuglesang kunnat fotografera norrsken över våra breddgrader.

Norrskenet kan beskrivas som vårt fönster eller bildskärm mot plasmauniversum. Det är ett synligt resultat av fysikaliska processer i den nära rymden. Genom en ökad förståelse för rymdmiljön får vi bättre kunskap om rymdens påverkan på mänskliga aktiviteter och tekniska system. Ett område som är av stort intresse för rymdfysiker kallas för rymdväder, studier av solens växelverkan med jorden. Vi har behov av rymdväderlektjänster för att ge tillförlitliga prognoser om magnetiska störningar och andra faktorer som kan påverka tekniska system på jorden och i rymden, och även astronauter. Ju mer vi förstår de processer som ger upphov till norrsken desto större chans har vi att kunna förutse när norrsken och andra störningar i magnetosfären kommer att äga rum.

< Norrsken över Kiruna. Den gröna färgen uppstår när elektroner från rymden krockar med syreatomer i atmosfären. Foto: Jörgen Hedin.



A Norrsken över Kanada fotograferat från den internationella rymdstationen ISS av den svenska astronauten Christer Fuglesang den 20 december 2006, kl 06.20 svensk tid. Exponeringstid 3 sekunder. Foto: Christer Fuglesang, ESA.

Under sommaren 2007 har professor Ingrid Sandahl vid IRF tillbringat några månader som gästforskare i Japan där hon sammanställt bilder på norrsken både från jorden och från rymden. Christer Fuglesangs bilder har satts ihop med bilder från marken som har tagits av ljuskänsliga avbildande detektorer i bland annat Kiruna, Abisko och norska Skibotn. Genom att låta flera detektorer samtidigt avbilda samma norrsken från olika vinklar kan man få fram tredimensionella bilder på norrsken. Nu, med hjälp av Christer Fuglesangs bilder, får man ytterligare en vinkel på norrskenet över Nordskandinavien.

Detektorerna ingår i ett system som heter ALIS (Auroral Large Imaging Sys-

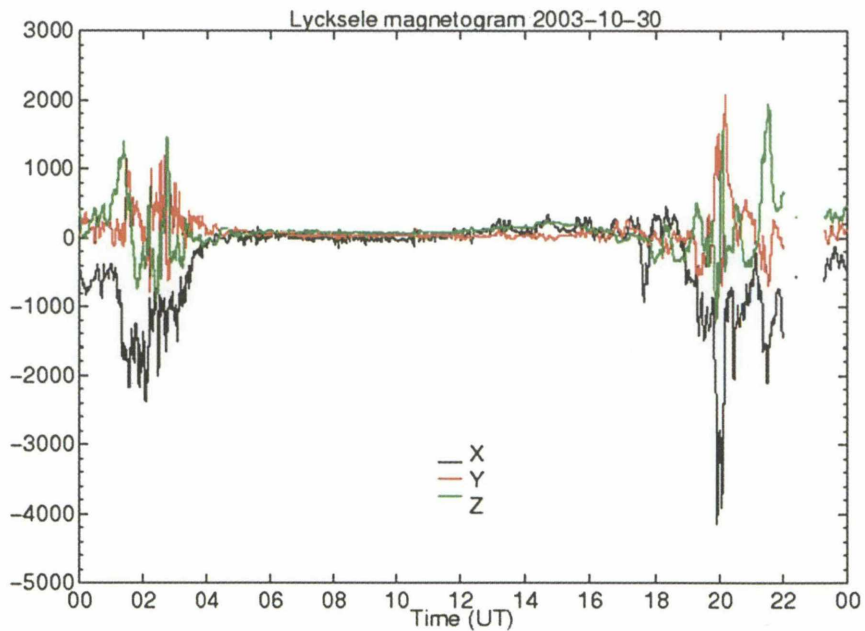
tem), ett obemannat avbildande system för norrskensstudier som utvecklats och byggts inom det optiska forskningsprogrammet vid IRF i Kiruna. För närvarande består systemet av sex obemannade helautomatiska observationsstationer placerade i ett rutnät med ca 50 kilometers mellanrum i norra Sverige och Norge. Stationerna kan fjärrstyras från vilken plats som helst med en god internetuppkoppling. Varje station är försedd med en högupplösande och mycket ljuskänslig CCD-detektor (ungefär som en – väldigt specialiserad – digital-kamera) som kan ta upp till en bild i sekund under den mörka delen av året. Detektorerna har ett filterhjul med sex positioner. Oftast används filter för de viktiga norrskenfärgerna (4278Å, 5577Å, 6300Å och 8446Å). Fjärrstyrningssystemet möjliggör att detektorerna kan dirigeras för att avbilda önskad del av himlen. Härigenom kan till exempel en gemensam volym avbildas för att kunna utföra norrskenstomografi.

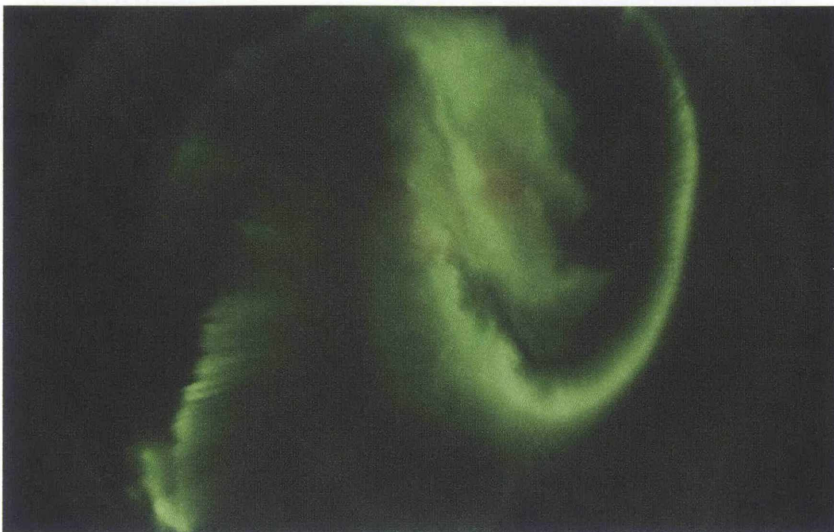
ALIS är ett av de moderna verktyg som norrskenforskare numera använder för att studera detta fascinerande fenomen. Systemet ingår i ett internationellt optiskt nätverk för norrskensstudier (Auroral Optical Network) med instrument i Europa och Nordamerika, samt på Svalbard, Grönland och Antarktis. De olika instrumenten kan användas i koordinerade kampanjer för att studera norrsken och dess motsvarighet på södra halvklotet, sydsken. Resultaten kan även kombineras med mätningar från satelliter som flyger över samma del av jordklotet.

Andra typer av mätningar görs rutinmässigt för att bygga upp ett underlag av data och information om norrsken och andra processer i jordens magnetosfär, den magnetiska bubbla som omger vår planet. I många år har jordens magnetfält registrerats med hjälp av magnetometrar vid stationer i till exempel Abisko, Kiruna, Lycksele, Uppsala och på Lovö i Mälaren (numera avvecklad). Mätstationen i Abisko etablerades redan 1921. Olika magnetiska index sammanfattar situationen i magnetosfären. Mätningar från Uppsala och tolv andra stationer runt om i världen används för att beräkna det planetära störningsindexet Kp, som är ett mått på den genomsnittliga ändringen av det magnetiska fältet jämfört med ostörda förhållanden. Abisko och elva andra stationer på höga latituder bidrar till AE-indexet, som används för att beskriva jonosfärsströmmar i samband med norrsken. Jonosfären är den joniserade övre delen av jordens atmosfär och sträcker sig från 80 till 500 km upp från jordens yta.

Firmamentkameror (eller all-sky-kameror från den engelska termen) täcker in hela himlavalvet på bildytan tack vare sina vidvinkelobjektiv. För att kunna avbilda himlen en gång i minut under hela natten användes tidigare filmkameror som filmade ner mot en kupolformad spegel. Numera är det vanligare med en digital systemkamera med till exempel ett 8 mm fiskögeobjektiv som på IRF i Kiruna, eller med en videokamera, som den som Misatoobservatoriet i Japan har placerat på turiststationen i Abisko med hjälp från IRF:s norrskenforskare. Bild-

V Här ser vi ett magnetogram från den 30 oktober 2003 med en störning i magnetosfären på över 4000 nT (nanotesla) i Lycksele. Detta är rekord – den största störningen under drygt 45 år av magnetiska observationer med magnetometrar i Lycksele och Kiruna. Rekordstörningen vid kl 20.00 UT (universell tid) motsvarar att kompassnålen svängde 15 grader österut jämfört med den normala riktningen. IRF:s digitala magnetometrar mäter jordens magnetfält i alla riktningar, med mellan 1 och 10 sekunders intervaller och med en noggrannhet av 0.1 nT. Magnetogram från dessa magnetometrar läggs ut på internet i realtid. Bild: Institutet för rymdfysik.





A Bilden visar ett kraftigt norrsken fotograferat den 12 december 2001, kl 22.10 UT (universell tid), av IRF:s firmamentkamera i Kiruna. Kameran (en kommersiell digitalsystemkamera) tar en bild i minuten under mörka nätter med ett 8 mm vidvinkelobjektiv (fiskeögeobjektiv) som avbildar nästan hela himlen. Registreringarna ingår i IRF:s observatorieverksamhet. Bild: Institutet för rymdfysik.

erna från båda dessa kameror läggs ut på internet i realtid. Numera kan alltså turister i Kiruna och Abisko stanna inomhus och vänta tills norrskenet uppenbarar sig innan de klär på sig och går ut för att titta på färgprakten.

Förutom optiska instrument har forskare i växande mån haft tillgång till kraftfulla radarinstrument för mätningar i jonosfären inom norrskenzonen. Med radar kan man undersöka många olika egenskaper i jonosfären och övre atmosfären. På nordkalotten finns världens modernaste radar för jonosfärstudier, EISCAT (European Incoherent Scatter), som bekostas och drivs av Finland, Japan, Kina, Norge, Storbritannien, Sverige och Tyskland. EISCAT använder den så kallade inkoherenta spridningstekniken, baserad på elektromagnetiska vågors spridning av termiska och andra fluktuationer i det plasma som omger jorden. Med denna teknik kan man mäta elektrontäthet, elektron- och jontemperatur och

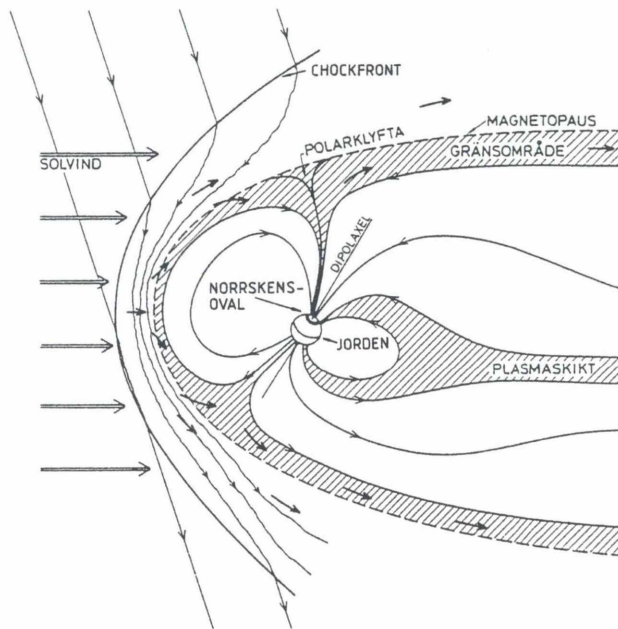
jondrifthastighet samt studera detaljer i små och dynamiska norrskensstrukturer. EISCAT har VHF- och UHF-sändare i Tromsö, samt UHF-mottagarantennerna i Tromsö, Kiruna och Sodankylä, vilket ger systemet bra täckning av norrskensovalen över norra Skandinavien. EISCAT har även två antenner på Svalbard, bland annat för studier av norrsken på den så kallade "dagsidan". Dessutom finns en kraftfull radiosändare (Heating) i Tromsö med vilken man kan stimulera vågor, värma upp jonosfären och stimulera olinjära plasmaprocesser som sedan kan studeras med radar och med optiska metoder.

Men här har vi introducerat några begrepp som bör förklaras. Rymdplasma, till exempel, vad är det? Vad är norrskensovalen? Och hur kan det finnas norrsken på dagsidan av jorden?

På jorden lever människan i en relativt skyddad plats i universum. Människan lever framförallt i en neutral värld, där materia för det mesta är i ett av tre aggregationstillstånd: fast, flytande och gasform. Men dessa tillstånd utgör mindre än en procent av universum, där det vanligaste tillståndet är plasma. På jorden uppträder detta tillstånd sparsamt, till exempel i blixten och i lysrör. Plasma är en laddad eller joniserad gas med lika många negativa som positiva partiklar. De elektrostatiska krafterna verkar på stort avstånd och varje partikel påverkas av väldigt många andra partiklar, så det är ett mycket komplext problem att beskriva materia som befinner sig i plasmatillstånd.¹

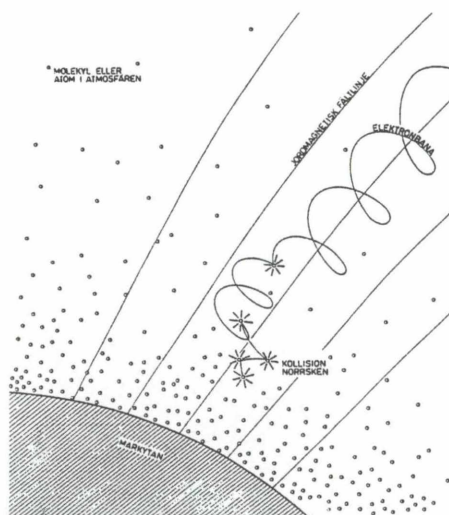
"Vi kommer från solen/Och går mot evigheten" sjunger Dag Vag², och samma sak kan man säga om de laddade partiklar som ger upphov till norrsken här på jorden. För det är en strid ström av laddade partiklar eller plasma som orsakar norrsken. Fast egentligen orsakas norrskenet av den bråkdelen av partiklarna som tar sig in i jordens magnetosfär, tillsammans med andra laddade partiklar som redan finns där. Det är framför allt elektroner och protoner, men också tyngre joner som joner av syre och helium.

Solen är norrskenets energikälla. Mycket av den energi som solen vräker ut är elektromagnetisk strålning såsom till exempel synligt ljus, men solen slungar också ut plasma i en snabb partikelström som kallas för solvinden. Solvinden rör sig genom solsystemet med en genomsnittshastighet på omkring 400 km/s och tar med sig solens magnetfält, det interplanetära magnetfältet (IMF). Jorden är som en stor magnet, och vår atmosfär är skyddad mot erosion



A Jordens magnetosfär med solvinden (plasma eller laddade partiklar från solen) som trycker ihop den på dagsidan och drar ut den till en lång svans som en vindstrumpa på nattsidan. Bilden visar väldigt förenklat några av de områden i magnetosfären som är viktiga för att förstå norrskensprocesserna. Bild: Institutet för rymdfysik.

från solvinden av en magnetisk bubbla, jordens magnetosfär, som trycks ihop på solsidan och dras ut till en lång, kometliknande svans på nattsidan. Men solvinden skakar till magnetosfären ordentligt, och tillför den energi som behövs för att accelerera norrskenspartiklarna ner mot atmosfären. Elektriska fält i magnetosfären accelererar partiklarna ner längs med magnetfältlinjerna tills de börjar krocka med atomer och molekyler i atmosfären. När en elektron krockar med en atom överförs en del energi från elektronen till atomen och atomen exciteras. Efter ett tag släpper atomen den upptagna energin i form av en ljusblxt. Varje elektron exciterar många atomer innan den bromsas helt nere vid ungefär 100 km höjd, den vanligaste höjden för norrskenets underkant.



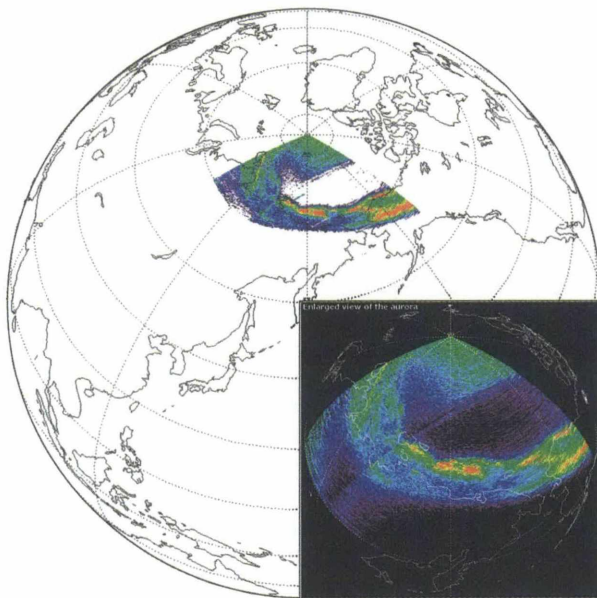
A Norrsken uppstår när elektroner styrs längs magnetfältlinjerna ner mot jorden och kolliderar med atomer och molekyler i atmosfären. När en elektron krockar med en atom, till exempel en syreatom, exciteras atomen, det vill säga tar åt sig lite av elektronens rörelseenergi. Elektronen fortsätter lite långsammare och kolliderar med fler atomer, medan den första syreatomen släpper ifrån sig sitt energitillskott i form av en ljusblxt (en foton). Ett stort antal fotoner tillsammans ger synligt norrsken. Efter hand som atmosfären blir tätare inträffar kollisionerna oftare och vid cirka 100 kilometers höjd har elektronen bromsats helt. Bild: Institutet för rymdfysik.

Beroende på vad det är för atomer och molekyler som exciteras, får man olika färger i norrsken. Den vanligaste färgen är grön (våglängd 5577 Å) och sänds ut av exciterade syreatomer. Kommer de snabba elektronerna med tillräckligt hög hastighet kan de tränga ner till lägre höjder där det finns gott om kväve i atmosfären. Då uppstår en röd nederkant på norrskenet. Tiden mellan excitation och utsändandet av ljus varierar från ämne till ämne. Den är riktigt kort för kvävemolekyler; de avger en violett färg som är typisk för väldigt snabba norrsken. I samband med kraftiga magnetiska stormar blir norrskensovalen bredare och flyttar långt söderut. Då är det oftast rött norrsken som syns. Dessa röda norrsken kommer från hög höjd (över 200 km) och orsakas av syre. Tiden

mellan excitation och ljusblixt för den här färgen är väldigt lång, i genomsnitt tio minuter.

Jordens magnetfält styr partiklarna ner mot två ringformade områden, norrskensovalen och sydskensovalen, runt de magnetiska polerna. Bilder med UV-avbildare från rymden har visat att dessa ovaler finns hela tiden, även på den sidan av jorden som är solbelyst (dagsidan). Ovalerna sitter något förskjutna mot jordens nattsida, eftersom solvinden trycker på och deformerar jordens magnetfält så att dagsidans norrsken hamnar på högre latitud än det på nattsidan. EISCAT har därför byggt två radarantennerna på Svalbard som har fördelen att ligga vid så pass hög latitud att man mitt på dagen under vintern kan utföra optiska mätningar i mörkret. Dessa kan man sedan jämföra med radarmätningarna.

V En del av norrskensovalen över östra Sibirien och Alaska avbildad i ultraviolett ljus den 18 december 1998, kl 12.40–12.55 UT (universell tid). Bilden har satts ihop med data från IRF:s UV-fotometer PIA-2A ombord på den svenska mikrosatelliten Astrid-2. Bild: Institutet för rymdfysik.



FORSKNINGSINSTRUMENT I RYMDEN

Som vi ska se när vi tittar på norrskenforskningens historia, så har man gjort observationer från marken i flera hundra år. Men rymdåldern medförde att man fick möjlighet att göra mätningar in situ (på plats) i rymden. Rymdåldern började på riktigt för endast 50 år sedan, 1957, med uppskjutningen av den första satelliten, Sputnik 1. Men redan tidigare fanns det möjlighet att skjuta upp instrument med så kallade sondraketer. Sondraketer lyfter en "nyttolast" (oftast ett mätinstrument av något slag) som sedan faller tillbaka till jorden utan att gå in i omloppsbanan. Den amerikanska forskaren James Van Allen (1914–2006) gjorde de allra första mätningarna av norrskenpartiklar 1953 med en raket som lyftes till ca 17 km med hjälp av en ballong och sedan flög till drygt 100 km. Men huvuddelen av norrskenpartiklarna hade lägre energier än vad som kunde mätas med Van Allens detektorer. Nya instrument utvecklades och kunde mäta laddade partiklar ovanför ett norrsken i Fort Churchill, Kanada, i januari och februari 1958.

Den sovjetiska satelliten Sputnik 1 följdes av två amerikanska satelliter, Explorer I och Explorer III, som skickades upp tidigt 1958. Ansvarig för de vetenskapliga instrumenten ombord var James Van Allen. De flesta hade trott att rymden skulle vara mer eller mindre tom, men satelliterna upptäckte mycket stark strålning och Van Allen förstod att den bestod av laddade partiklar med mycket hög energi, varaktigt infångade i jordens magnetfält. Instrument på de sovjetiska månsonderna Lunik I, II och III gjorde de första direkta mätningar av solvinden, och år 1961 upptäckte Explorer X att jordens magnetfält har en skarp yttre gräns på dagsidan på ungefär tio jordradiers avstånd. Med bättre och bättre instrumentering på sondraketer och satelliter har man kunnat revidera tidigare idéer om hur jordens närområde ser ut. Man har upptäckt att det är mycket komplicerat och att norrsken är resultatet av komplexa processer i magnetosfären under solvindens inflytande.

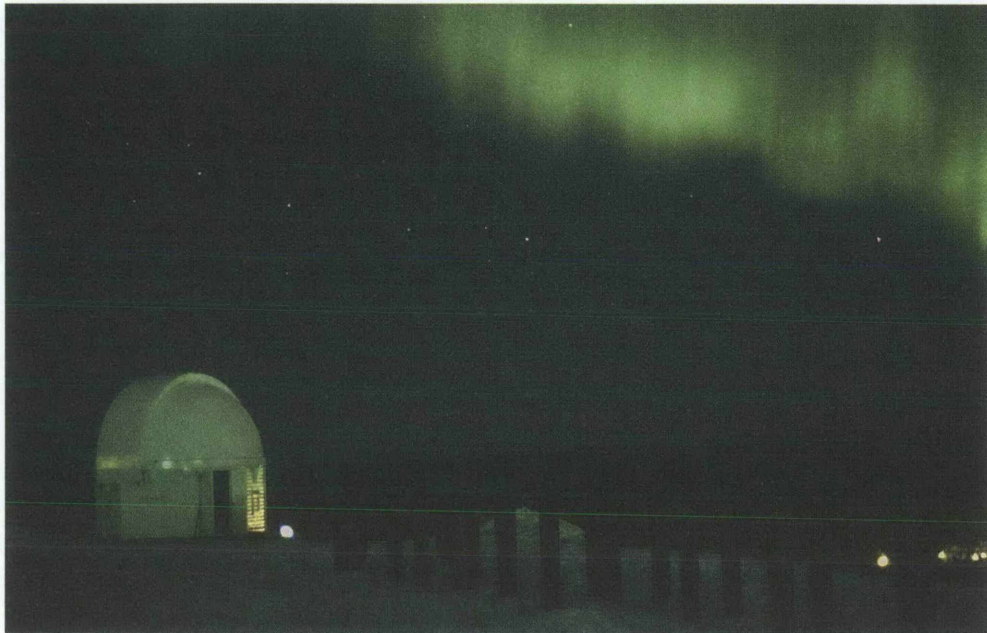
Norrskenforskning i Sverige tog fart under det internationella geofysiska året (IGY, International Geophysical Year), 1957–58. Som ett av Sveriges bidrag till IGY grundades Kiruna geofysiska observatorium (KGO), som senare blev Institutet för rymdfysik (IRF). Redan 1958 upptäckte Kirunaforskarna, tillsammans med kollegor i Alaska och Kanada, att radiovågor absorberas syn-

nerligen effektivt över polarkalotterna i samband med vissa solutbrott. Det första svenska instrument för in situ-mätningar i norrsken byggdes i Kiruna och sköts upp med en raket från Andøya i Nordnorge 1964. Kungliga Tekniska högskolan (KTH) i Stockholm och Uppsala jonosfärsobservatorium (som senare blev en del av IRF) hade redan skickat upp raketinstrument från White Sands i USA 1963 för att mäta elektriska fält och studera jonosfärens elektroner och joner. Den europeiska rymdforskningsorganisationen ESRO (European Space Research Organisation) letade vid den här tiden efter ett lämpligt ställe i Europa för ett raketuppskjutningsfält. Valet föll på Kiruna, och raketfältet Esrange invigdes 1966. Under åren 1968–1986 skickades därifrån i medeltal mellan en och två sondraketer med svenska norrskensinstrument upp varje år.

Men redan 1968 skickades det första svenska satellitinstrument upp i rymden, när ett partikelinstrument från KGO i Kiruna sköts upp på den europeiska satelliten ESRO 1A för att mäta elektroner och positiva joner ovanför norrskensovalen. Sedan dess har svenska instrument skickats upp på ett trettioital europeiska, sovjetiska, ryska, japanska och kinesiska satelliter. Många av dessa satelliter har gått i omloppsbanan runt jorden och kunnat göra mätningar i magnetosfären. Bland de europeiska satelliterna inkluderas även några svenska satelliter. För 1986 sändes den första svenska forskningssatelliten, Viking, upp för att studera fenomen i området ovanför polarkalotten. Huvudansvariga för de vetenskapliga instrumenten ombord på Viking var IRF:s avdelningar i Kiruna och Uppsala samt Institutionen för plasmafysik vid KTH i Stockholm. Resultaten visade att norrskensaktiviteten på dagsidan är större än på nattsidan och gav många nya kunskaper om de olika processer som ger norrskenspartiklarna deras höga hastigheter.

Kerstin Fredga och Bengt Hultqvist skrev: "Viking har kartlagt en värld av partiklar, vågor och fält i ett mycket komplicerat samspel. Partiklar rör sig över stora avstånd i magnetosfären, elektriska strömmar flyter både ut från jorden och in mot den, skarpa gränsskikt kan skapas mellan olika områden i plasmat, stark radiostrålning sänds ut; det visslar och tjuter. Det är en märklig värld, och vi lever mitt i den."³

Viking följdes av Freja (1992), mikrosatelliterna Astrid-1 (1995) och Astrid-2 (1998), och nanosatelliten Munin (2000). Alla gjorde mätningar från polära



▲ Ett norrskensdraperi över Bengt Hultqvist-observatoriet, som är ett samarbete mellan Institutionen för rymdvetenskap (Luleå tekniska universitet) och Rymdgymnasiet i Kiruna. Namnet hyllar IRF:s första föreståndare Bengt Hultqvist, som var den vetenskapliga initiativtagaren till Sveriges första satellit, Viking. Foto: Martin Bohm.

omloppsbanor i jordens magnetosfär. Munin, som vägde bara sex kilogram, byggdes vid IRF i Kiruna i samarbete med rymdingenjörsstudenter från Umeå universitet och Luleå tekniska universitet och hade två partikelinstrument (ett från Southwest Research Institute i Texas) och en liten CCD-kamera för mätningar i norrskensområdet. Munin fick åka gratis på en Deltaraket från Vandenberg Air Force Base i Kalifornien och projektledaren åkte över till USA med satelliten i sitt handbagage! Mätningar från svenska instrument och satelliter används tillsammans med andra nationers rymddata från satelliter och från markbaserade instrument för att öka kunskapen om de processer som pågår i magnetosfären och bidrar till norrskensaktivitet.

HISTORIA

Men hur var det förr? På grund av låg solaktivitet förekom det ovanligt lite norrsken från mitten av 1600-talet till början av 1700-talet. Två stora norrsken över Europa under mars månad 1716 blåste nytt liv i intresset för norrsken. Bland dem som började studera norrsken var Anders Celsius (1701–1744), som skulle bli en av de mest betydande forskarna i Sverige under 1700-talet. Han gjorde egna observationer och samlade ihop information från olika personer runt om i Sverige. Sina resultat publicerade han 1733 i Nürnberg i en uppmärksammas skrift: *CCCXVI observationes de lumine boreali ab 1716 usque ad 1732 in Suecia habitae* (316 observationer av norrsken gjorda i Sverige mellan åren 1716–1732). Celsius trodde att det skulle dröja länge innan man skulle finna förklaringen till fenomenet norrsken. Han hävdade att det var viktigare att göra noggranna observationer än att komma med falska hypoteser som lätt kunde motbevisas.

Celsius var också mycket intresserad av kompassens missvisning. Tillsammans med sin svåger, Olof Hiorter (1696–1750), gjorde han noggranna mätningar av den dagliga missvisningen. Dessa mätningar ledde till den viktiga upptäckten under våren 1741 att kompassnålen gjorde kraftiga utslag samtidigt som norrsken spelade på himlavalvet. Genom brevväxling med den berömda instrumentkonstruktören George Graham i London upptäckte de att norrsken och magnetiska variationer uppträdde samtidigt över stora områden. Trettio år senare upptäckte en annan svensk, Johan Carl Wilcke (1732–1796), att norrskenets strålar går parallellt med jordens magnetfält. Som vi nu vet är orsaken att magnetfältet styr de elektroner som ger upphov till norrsken, men varken elektronen eller de fysiska lagar som styr elektronens rörelse i magnetiska fält var kända på Wilckes tid.

Pehr Wargentin (1717–1783), en student till Celsius, kom fram till att norrsken förekommer samtidigt i Europa, Asien och Amerika, efter att ha analyserat norrskensobservationer insamlade av Carl von Linnés lärjungar i mitten av 1700-talet. Under senare hälften av 1700-talet blev det även känt i Europa att norrskenet har en motsvarighet på södra halvklotet sedan sydsken rapporterats av spanjoren Antonio de Ulloa och av engelsmannen James Cook.

Den tyske amatörastronomen Samuel Heinrich Schwabe (1789–1875) upp-

täckte att antalet solfläckar har en elvaårscykel men det dröjde till 1851 innan hans resultat fick någon uppmärksamhet. Redan året därpå konstaterade irländaren Edward Sabine (1788–1883) respektive schweizaren Rudolf Wolf (1816–93) ett samband mellan magnetiska stormar och solfläckar, och mellan norrskensobservationer och solfläckar.

Anders Jonas Ångström (1814–1874) är mest känd som en av grundarna av den optiska spektroskopin. Han införde enheten för ljusvåglängd som senare antogs som internationell enhet med namnet ångström ($1\text{\AA} = 0.1$ nanometer – en nanometer är en miljondels millimeter). Han var den förste att studera spektrum (färgsammansättningen) från norrskenet och visade att norrsken kommer från en lysande gas eftersom det bara innehåller vissa bestämda färger. År 1868 mätte han våglängden för den gulgröna färg som vanligen är starkast i norrsken (557,7 nm eller 5577 Å) men kunde inte identifiera vilken gas ljuset kom ifrån. Först 1925 kunde kanadensiska forskare konstatera att den kommer från syreatomer.

Dansken Sophus Tromholt (1851–1896) var en stor norrskensentusiast som flyttade till Norge för att studera norrsken på 1870- och 1880-talet. Han är känd för att ha populariserat norrskenforskningen och för att ha spritt kunskap om sambandet mellan norrskensutbrott och solfläckscykeln. Som en parentes kan man notera att han även har bidragit till debatten om det är möjligt att höra norrsken (därom tvista de lärda!). I sann Celsiusanda samlade Tromholt in norrskensobservationer i Norge och i en enkätundersökning som han gjorde 1885 rapporterade 36 procent av respondenterna att de hade hört norrskensljud; ytterligare 28 procent hade andrahandsuppgifter om ljud från norrsken.

Dansken Hans Christian Ørsted (1777–1851) upptäckte 1820 att elektriska strömmar ger upphov till ett magnetfält som påverkar en kompassnål. Sedan skotten Balfour Stewart (1828–1887) hade kommit fram till slutsatsen att övre atmosfären är elektriskt ledande kunde norrmannen Kristian Birkeland (1867–1917) räkna ut att de magnetiska variationerna i norrsken måste bero på tillfälliga elektriska strömmar där. Med hjälp av mätningar i Nordnorge, på Island, Svalbard och Novaja Semlja kunde han förklara sambandet mellan norrsken och magnetfältvariationer. Birkeland föreslog också att norrskenet orsakas av elektroner från solen samt kartlade olika elektriska strömmar i samband med

norrskén, både horisontella och sådana som löper parallellt med jordens magnetfält. Birkeland var dock före sin tid och det var först när satellitmätningar gjordes i slutet av 1960-talet att man kunde konstatera att hans teori om parallella strömmar verkligen stämde.

Två av Birkelands lärjungar, Carl Størmer (1874–1957) och Lars Vegard (1880–1963), bidrog också med viktiga forskningsframgångar under perioden innan rymdåldern började på riktigt. Med hjälp av två nya uppfinningar, telefonen och kameran, kunde Størmer lösa en vetenskaplig fråga, norrskenets höjd, helt enkelt genom att fotografera det samtidigt från två håll. Han fortsatte också Birkelands arbete med att beräkna laddade partiklars banor i magnetfält. Vegard byggde vidare på Ångströms mätningar av norrskens ljus, och hittade 1939 en röd och en blågrön nyans som orsakas av protoner. Han kunde också bestämma protonernas hastighet.

Rollen som plasma från solen spelar i norrskenssammanhang har vi redan konstaterat. En ny gren av fysiken, plasmafysiken, växte ur försöken att förklara norrsken och magnetiska variationer och vad som bör hända när plasma från solen träffar jorden. Svensken Hannes Alfvén (1908–1995) lanserade en teori för hur plasma uppför sig i magnetfält, magnetohydrodynamiken, och uppfann en metod för att beräkna partikelbanor i magnetiska och elektriska fält. Han var före sin tid med förslaget att elektriska fält parallella med magnetfältet spelar en viktig roll i accelerationen av partiklarna som orsakar norrsken. Teoretiskt arbete av Alfvén och britten Sydney Chapman (1888–1970) hjälpte forskare tolka raket- och satellitmätningar snabbare när rymderan började och det blev möjligt att göra mätningar in situ.

För de flesta av dessa norrskenspionjärer var det säkert en främmande tanke att kunna åka upp i rymden själv och se norrsken uppifrån. Nu kan man göra det och mycket annat som till exempel Celsius aldrig kunde ana. Christer Fuglesangs bilder från rymdstationen bidrar som en liten pusselbit till den forskning som kan ta fram rymdvädersprognoser och därmed göra arbetsmiljön i rymden lite säkrare för Fuglesang själv och för hans efterföljare som rymdresenärer...

NOTER

- 1 Den amerikanska fysikern Irving Langmuir (1881–1957), som fick nobelpriset i kemi 1932, lär ha myntat termen "plasma" för joniserade gaser, eftersom de påminde honom om blod-plasma. Langmuir uppfann även den så kallade langmuirproben, ett instrument som används i plasmafysik, inklusive rymdplasmafysik, för att mäta temperatur och täthet i plasma. Just nu finns det svenska langmuirprober – från IRF i Uppsala – ombord på satelliterna Cassini, i bana runt Saturnus, och Rosetta, som är på väg långt ut i solsystemet för att utforska en komet.
- 2 Låten "Tokna & galna" på skivan *Scenbuddism* (1979).
- 3 Kerstin Fredga och Bengt Hultqvist, "Svensk Viking såg norrsken uppifrån mitt på dagen", *Forskning och framsteg* nr 3 (april–maj 1989): 43.

LITTERATUR, REFERENSER OCH HEMSIDOR

Här listas dels mina källor, dels tips för vidare läsning och hemsidor av intresse. Jag har lutat mig väldigt mycket på den kunskap som mina kollegor på Institutet för rymdfysik i Kiruna besitter. I synnerhet har jag en stor tacksamhetsskuld till professor Ingrid Sandahl. Jag har lånat mycket ur hennes artiklar och hennes populärvetenskapliga bok om norrsken – den enda hittills på svenska.

BÖCKER

- Akasofu, S.-I., *Aurora Borealis: The Amazing Northern Lights*, Alaska Geographic Vol. 6, no. 2 (Anchorage: Alaska Geographic Society, 1979). En trevlig introduktion till norrsken på engelska, med många fina bilder.
- Akasofu, Syun-ichi, *Exploring the Secrets of the Aurora* (New York: Springer, 2007). På engelska, om man vill fördjupa sig.
- Bone, Neil, *The Aurora: Sun-Earth Interactions 2:a upplaga* (Chichester: Praxis Pub.; New York: Wiley, 1996). På engelska, kräver vissa naturvetenskapliga förkunskaper.
- Brekke, Asgeir, och Alv Egeland, *Nordlyset: kulturarv og vitenskap* (Oslo: Grøndahl Dreyer, 1994). På norska, en rikligt illustrerad beskrivning av norrsken, med tonvikten på Norden.
- Davis, Neil, *The Aurora Watcher's Handbook* (Fairbanks: University of Alaska Press, 1992). På engelska, en välillustrerad handbok för norrskensobservatörer.
- Eather, Robert H., *Majestic Lights: The Aurora in Science, History, and the Arts* (Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1980). Ett standardverk på engelska.
- Falck-Ytter, Harald, *Norrsken: Polarskenet (norrsken och sydsken) i mytologi, naturvetenskap och apokalyps*, översättning till svenska av Margareta Lundmark (Järna: Telleby Bokförlag, 1984). Ett antroposofiskt perspektiv på norrsken. Fina bilder av fotografen Torbjörn Lövgren.
- Hultqvist, Bengt, *Rymden, vetenskapen och jag: En memoarbok om svensk rymdforskning under efterkrigstiden* (Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien, 1997). Memoarer av IRF:s första föreståndare. Täcker in en viktig period i den svenska norrskenforskningens historia.

Rikkonen, Martti, *Northern Lights*, text: Esa Turunen & Jyrki Manninen (Helsingfors: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 2001). På engelska, många fina bilder och en relativt kort text om norrsken.

Sandahl, Ingrid, *Norrsken: Budbärare från rymden* (Stockholm: Atlantis, 1998). Min huvudkälla (se ovan).

Ørbaek, Jon Børre, och Asgeir Brekke (red.), *Arctic lights* (Tromsø: Tromsø Museum, 2006). På engelska, översättning från *Ottar* no 252 (4-2004) och no 256 (3-2005). Norrsken och andra ljusfenomen i Arktis.

ARTIKLAR

Beckman, Olof, "Anders Celsius". Bra artikel om Anders Celsius' liv och bidrag till vetenskapen. Webbadress: <http://www.astro.uu.se/history/celsius.pdf>

Fredga, Kerstin, och Bengt Hultqvist, "Svensk Viking såg norrsken uppifrån mitt på dagen", *Forskning och framsteg* nr 3 (1989): 38-43.

Lundin, Rickard, och Johanna Rose, "Freja håller ett öga på norrskenet", *Forskning och framsteg* nr 6 (1993): 48-49.

Sandahl, Ingrid, "På världens största bildskärm", i *Med färg i blicken: Naturvetenskapliga forskningsrådets årsbok 2001* (Stockholm: Naturvetenskapliga forskningsrådet, 2001), ss 7-18.

Sandahl, Ingrid, "Utan solen inget norrsken", i *Solen, klimatet, människan: Ymer 2004* (Stockholm: Svenska sällskapet för antropologi och geografi, 2004), ss 58-71, samt bilder ss 79-81.

HEMSIDOR

Det finns mycket information om norrsken och norrskenforskning på internet. Här finns några startpunkter:

Institutet för rymdfysik: www.irf.se (populärvetenskapliga sidor, firmamentkamerabilder i realtid, information om ALIS, magnetometrar, satellitprojekt, länkar till andra rymdorganisationer mm).

Regional Warning Center Sweden: www.lund.irf.se/rwc/aurora (norrskenprognoser och andra länkar från rymdvädersforskare vid IRF i Lund.)

Rymdstyrelsen: www.snsb.se (Rymdstyrelsen finansierar mycket av den svenska rymdforskningen.)

Rymdforum Sverige: www.rymdforum.nu (En rymdportal på svenska med information om rymdverksamhet och frågelådor om bl a norrsken.)