

Ørsted-satellitten - forskning i Jordens magnetiske felt

Eigil Friis-Christensen

Oprindelsen af Jordens magnetfelt blev af Einstein betragtet som et af de tre vigtigste og uløste problemer i fysikken. Selv om man i dag har en fornemmelse af de betingelser, som skal være til stede, for at Jorden kan have et stærkt magnetfelt, er vi dog stadig langt fra at kunne formulere en egentlig fysisk model, som beskriver magnetfeltet og dets variationer. En af årsagerne hertil er, at vor viden om magnetfeltet er begrænset til målinger fra et begrænset antal observatorier på Jordens overflade samt en enkelt satellitopmåling foretaget for 15 år siden. Da magnetfeltet til stadighed ændrer sig har vi længe ønsket en fornyet nøjagtig opmåling af Jordens magnetfelt. Vi bygger nu Danmarks første egentlige satellit, der skal sendes op i slutningen af 1995. Satellitens formål er at foretage en nøjagtig opmåling af Jordens magnetfelt i højder på mellem 400 og 800 km over jordoverfladen.

Magnetiske felter og elektriske strømme

Fysikken i det 20. århundrede har været præget af en dualisme i den forstand, at nogle fænomener bedst kunne beskrives ved hjælp af felter, medens andre fænomener måtte beskrives form af partikler. En tilsvarende dualisme hersker når det gælder det magnetiske felt og de elektriske strømme. Det magnetiske felt har den fordel, at det er relativt nemt at måle med stor nøjagtighed. Men det magnetiske felt fortæller ikke i sig selv ret meget om Verden omkring os. Det er først gennem fortolkningen af de målte magnetiske felter i form af deres kilder, nemlig de elektriske strømme, at vi er i stand til at sige noget om de processer, der skaber felterne.

Dette gælder også Jordens magnetfelt. Vi er vokset op med dette magnetfelt som en naturgiven ting - en fundamental egenskab ved Jorden som klode. Vi har i århundreder benyttet vort kendskab til Jordens magnetfelt til at finde vej på verdenshavene. Og vi har kunnet anvende dets egenskaber uden i virkeligheden at forstå, hvad der skabte magnetfeltet. Erfaringen har vist os, at Jordens magnetfelt ændrede sig, hvilket betød, at man hele tiden var nødsaget til at lave nye søkort med nye værdier for misvisningen, som forskellen mellem kompasnåleens retning og den geografiske nordretning, blev kaldt. Men hvor meget man end forsøgte, kunne man ikke beregne sig til de nye værdier, og man var derfor nødsaget til systematisk at observere magnetfeltet for at kunne følge dets ændringer. Man opdagede også, at man ikke kunne nøjes med at observere magnetfeltet nogle få steder. Ændringerne i Jordens magnetfelt var ikke de samme målt forskellige steder på Jorden.

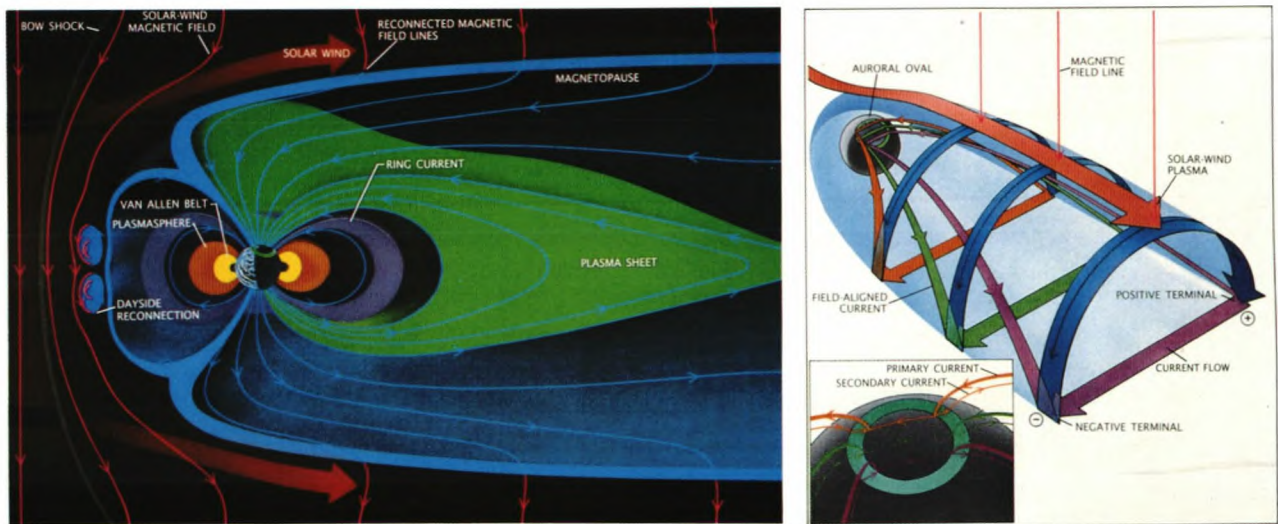
Således opstod i forrige århundrede behovet for

egentlige magnetiske observatorier. Dels for at bidrage med absolut nødvendige værdier til de nationale søkort, og dels fordi man havde det håb, at systematiske observationer skulle kunne give en forklaring på den tilsyneladende tilfældige måde, som magnetfeltet ændrede sig på. Ved hjælp af sådanne observationer lykkedes det Gauss i 1838 at påvise, at det magnetfelt, der måles på Jordens overflade, ikke alene har sin oprindelse i Jordens indre, men at en del af feltet måtte stamme fra strømme i Jordens omgivelser. Gauss udviklede til dette formål et matematisk værktøj, den sfærisk harmoniske analyse, som anvendes utroligt meget den dag i dag inden for mange tekniske og videnskabelige områder. Årsagen til dette værktøjs succes med hensyn til analysen af Jordens magnetiske felt er, at dette er et potentialfelt, fordi målingerne foretaget på Jordens overflade er registreret uden for de elektriske strømkilder. Potentialfeltets egenskaber giver mulighed for, alene på grundlag af målinger på Jordens overflade, at uddrage væsentlig information om kilderne til de målte magnetfelter. Man kan udtale sig om størrelsen af det ydre felt i forhold til det indre, og man kan også, under visse antagelser, beregne, hvorledes de magnetiske felter ville være i forskellige dybder under Jordens overflade - og i forskellige højder over denne.

Gauss indså klart de vidtrækkende konsekvenser af sin opdagelse, som var i modsætning til den herskende opfattelse om et tomt rum, og lancerede i denne forbindelse tanken om, at Solen foruden det synlige lys også udsender elektriske strømme. Senere i århundredet iagttog den engelske fysiker Carrington i 1859, at store variationer i det magnetiske felt målt på Jorden, de såkaldte magnetiske storme, fulgte forekomsten af stærk aktivitet på Solens overflade. Han konkluderede derfor, at de magnetiske storme på Jordens havde deres årsag i energiudladninger på Solen, uden at han dog kunne pege på noget der kunne forklare den fysiske sammenhæng mellem fænomenerne på Solen og variationerne i Jordens magnetfelt.

Kvaliteten af de udsagn, som man kan komme med på grundlag af de matematiske modeller, vil i sagens natur være nøje knyttet til kvaliteten af de observationer, der er anvendt. Med kvaliteten af observationerne menes såvel nøjagtigheden af målingerne som mængden og den rumlige fordeling af målingerne. Derfor vil en matematisk model, der alene baserer sig på de ca. 200 magnetiske observatorier på Jorden, udvise store mangler.

Til at afhjælpe dette problem kunne man forøge antallet af observationer på Jordens overflade, men det er vanskeligt af organisatoriske, logistiske og økonomiske grunde. En nærliggende mulighed i vores satellitalder er at benytte en satellit i en polar bane til at dække



Figur 1. Figuren viser magnetosfæren, som er det område af rummet, hvor Jordens magnetfelt kan måles. Formen af magnetosfæren er bestemt af solvindens tryk samt dens magnetiske felt, som vekselvirker med Jordens. I retning bort fra Solen findes en lang nærmest cylinderformet "hale", hvor magnetfeltlinierne på den nordlige del har retning mod Jorden og mod magnetpolen, medens de på den sydlige halvkugle er rettet bort fra Jorden. Formen af denne hale kan kun opretholdes ved at der til stadighed er strømme, som danner dette magnetfelt. Kilden til disse strømme er solvinden hvis partikler afbøjes ved mødet med Jordens magnetfelt. De positive ioner afbøjes mod vest medens de negative elektroner går mod øst. Spændingsforskellen tværs over halen giver anledning til en strøm, som går gennem halen på tværs af retningen til Solen og derpå deler sig i to dele og vender tilbage langs magnetopausens overflade, en del langs den nordlige del af halen, og en anden del langs den sydlige del. Ved anvendelse af højrehåndsreglen på disse to lukkede strømme kan man umiddelbart se, at strømmen i den nordlige halvdel vil skabe et magnetfelt, der er rettet ind i mod Jorden, medens det magnetfelt, der dannes af den sydlige strøm er rettet bort fra Jorden - i overensstemmelse med den observerede konfiguration. Ikke hele strømmen går direkte langs magnetopausen. Da de magnetiske feltlinier er ledende, vil en del af strømmen bevæge sig ned til Jorden, hvor den giver anledning til et spændingsfald på ca. 100 kilovolt tværs over den polare ionosfære. Da ionosfæren også er ledende, specielt i en ring omkring de magnetiske poler, vil der derfor her gå elektriske strømme, som hele tiden bliver fødet af strømmene ude fra magnetopausen. Med satellitmålinger vil man kunne studere de elektriske strømme langs med magnetfeltlinierne og sammenholde dem med målinger på Jorden af de ionosfæriske strømme. Tilsammen vil man derved opnå et tredimensionalt billede af det globale strømsystem.

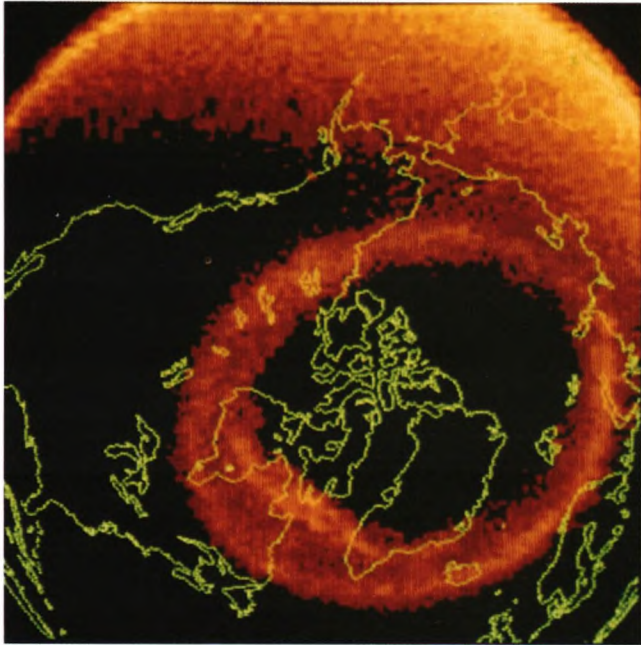
målinger overalt på Jorden. Problemet er i dette tilfælde, om man kan udføre målingerne med den nødvendige præcision. Der er indtil dato kun foretaget én mission med det formål at opmåle Jordens magnetfelt med den nødvendige præcision. Den amerikanske MAGSAT satellit, som var i funktion i 8 måneder i 1979-1980 gav hidtil uovertrufne målinger af Jordens magnetfelt. Dette er nu 15 år siden, og den internationale videnskabelige association for geomagnetisme og aeronomi har kraftig anbefalet at der foretages en fornyet opmåling. Dels fordi Jordens magnetfelt i mellemtiden har ændret sig således at vor viden om det præcise felt er forringet, men også fordi en fornyet opmåling sammenholdt med den eksisterende, vil fortælle betydningsfuldt nyt om den rumlige fordeling af ændringerne, og måske derved kaste nyt lys over mekanismerne bag dem.

Jordens indre felt.

Jordens indre, hvor magnetfeltet har sin oprindelse, kan groft opdeles i tre fundamentalt forskellige områder, som er fundet bl.a. ved seismiske undersøgelser. Inderst er der på grund af det høje tryk en fast kerne, hovedsagelig bestående af jern. Uden på denne faste kerne ligger den

såkaldte flydende kerne. Den smeltede jernmasse, som er hovedbestanddelen i denne del af kernen, er i stadig bevægelse som følge af varmestrømninger og som følge af Jordens rotation. Da materialet er elektrisk ledende, vil bevægelserne i forhold til Jordens magnetiske felt medføre, at der opstår elektriske strømme i materialet. De elektriske strømme vil skabe nye magnetiske felter, som forstærker det eksisterende magnetfelt. Så længe der i Jordens kerne er bevægelser, vil denne såkaldte geodynamo derfor fortsætte med at generere magnetiske felter.

Netop fordi Jordens magnetfelt er nøje knyttet til bevægelser i Jordens flydende kerne, er magnetfeltet ikke konstant. Det ændrer sig hele tiden og det er især den måde, ændringerne foregår på, der kan være med til at kaste nyt lys over de processer, der foregår langt inde i Jordens indre. Men det er til gengæld også målingerne af de relativt små og langsomme ændringer, der kræver de mest avancerede og stabile instrumenter, der kan opdrives.



Figur 2. Nordlyset som en satellit ser det. Billedet er gengivet i falske farver. Optagelsen er foretaget med lys omkring 130 nm hvor atomart ilt og molekylært nitrogen lyser kraftigt.

Magnetfelter fra kilder i Jordens skorpe.

Uden på Jordens flydende kerne ligger det område, man kalder kappen, og alleryderst findes Jordens skorpe. Selvom den største del af det magnetfelt, som måles på Jordens overflade eller i satellithøjde, stammer fra kilder i Jordens indre, er der en betydningsfuld del, som hidrører fra skorpen. Her er det ikke elektriske strømme, der er årsag til magnetfeltet. Men her findes et magnetisk felt, som er "frosset" i bjergarterne, da disse størknede, og derfor vil et præcist kendskab til fordelingen af de "frosne" magnetfelter kunne bidrage væsentligt til forståelsen af jordskorpens struktur og dens udvikling. For at kunne bestemme denne del af feltet er det imidlertid nødvendigt både at vide, hvor stor en del af det målte felt, der stammer fra Jordens indre, og hvor stor en del, der skyldes strømmene uden for Jorden. Med den forventede præcision af målingerne vil Ørsted-satellitten give et værdifuldt bidrag til denne forskning.

Polvendinger

Det er kun inden for de sidste ca. 500 år, at vi med vore instrumenter direkte har målt Jordens magnetfelt. I denne periode har man observeret den såkaldte sekularvariation, dvs. langsomme variationer i Jordens magnetfelt, som er knyttet til bevægelserne i Jordens indre. Over længere perioder har man imidlertid gennem målinger af de "frosne" magnetfelter i Jordens skorpe kunnet konstatere, at bevægelserne i Jordens indre til tider har været så drastiske, at de har vendt op og ned på de magnetiske poler, således at de i løbet af en relativt kort periode (ca. 10.000 år) har flyttet sig fra den ene halvkugle til den anden.

Årsagerne til disse polvendinger, som er forekom-

met med gennemsnitligt med nogle hundrede tusind års mellemrum, gennem i hvert fald de sidste 140 mill. år, er ikke klarlagt, men det forventes, at Ørsted-satellitens opmåling sammenholdt med MAGSAT-satellitens målinger i 1980 vil kunne kaste nyt lys også over denne side af det uløste fysiske problem vedrørende årsagen til polvendingerne.

At polvendinger ikke er noget enestående for Jorden ses af at også Solens magnetfelt vender totalt rundt med en periode, som ganske vist kun er på 22 år, men hvis oprindelse har så stærke lighedspunkter med forholdende på Jorden, at en fælles teori måske er mulig.

Solvinden og Jordens magnetosfære

Det magnetiske felt, som stammer fra Jordens indre varierer kun langsomt i forhold til det felt, som stammer fra Jordens omgivelser. Dette ydre felt har sin årsag i et kompliceret system af elektriske strømme, som skyldes den stadige vekselvirkning mellem solvinden og Jordens magnetfelt. Solvinden er en strøm af elektrisk ladede partikler, fortrinsvis elektroner, protoner og alfa-partikler, som konstant "fordamper" fra Solens overflade.

Det afgrænsede område omkring Jorden, der kontrolleres af Jordens magnetfelt, kaldes magnetosfæren. Grænsefladen vil til stadighed indstille sig på en ligevægt mellem solvindens varierende tryk og det "magnetiske" modtryk, som Jordens felt yder. Herved opnår magnetosfæren en form, som kan minde om en komet. Magnetosfæren er kendetegnet ved, at grænsefladen i retning mod Solen har en afstand af ca 10 jordradier, medens den i retning bort fra Solen strækker sig ud til en afstand af mindst 200 jordradier. Den del af magnetosfæren, som solvinden "blæser" bort fra Solen, kaldes magnetosfærens hale.

En vigtig egenskab ved solvinden er, at den besidder et magnetisk felt, som har en gennemsnitlig feltstyrke på ca. 5 nanoTesla, titusinde gange mindre end feltet ved Jordens overflade. Det viser sig imidlertid, at det er retningen af dette magnetfelt, som mere end noget andet bestemmer energioverførslen til Jordens magnetosfære. Talrige observationer viser, at når solvindens magnetfelt vender mod syd, dvs. er modsat rettet Jordens felt ved ækvator (det subsolare punkt) sker der den største overførsel af energi til magnetosfæren. Dette viser sig såvel i antallet af nordlys som i hyppigheden af de magnetiske storme. Årsagen hertil er, at der ved denne konfiguration af de magnetiske felter kan der i grænsefladen dannes såkaldt neutrale punkter, dvs. punkter, hvor magnetfeltet er forsvindende. I sådanne punkter kan man forestille sig, at feltlinierne i solvinden og i jordfeltet "forbindes", og at solvindens plasma derigennem får direkte adgang til magnetosfæren. Teorien for denne proces forudsiger ovenikøbet, at solvindspartiklerne direkte kan blive accelereret igennem denne passage. I de perioder, hvor solvindens magnetfelt er rettet mod nord, dvs. parallelt med Jordens felt, vil solvindens plasma blive effektivt afbøjet og strømme langs med magnetosfæren. I dette tilfælde

forekommer der dog muligvis tilsvarende processer langt nede ad magnetosfærens hale, men fordelingen af de elektriske strømme i magnetosfæren vil da have et helt andet udseende.

Grænselaget mellem magnetosfæren og atmosfæren kaldes ionosfæren. Elektrisk ladede partikler har den egenskab, at de har meget lettere ved at bevæge sig langs med det magnetiske felt end på tværs af det. Derfor kan de elektrisk ladede partikler meget hurtigt nå fra de yderste lag af magnetosfæren til den polare ionosfære. Når partiklerne når ionosfæren, er partikeltætheden så høj, at der optræder kollisioner, hvorved en betydelig del af luftens atomer og molekyler ioniseres. Dette medfører, at luften her kan lede elektriske strømme. I ionosfæren optræder derfor en lang række processer, hvoraf nogle er direkte synlige. Det er nordlysene, som forårsages af elektroner, der med stor fart anslår luftens ilt- og kvælstofmolekyler. Andre processer kan kun opfattes gennem målinger med forskelligt udstyr. Man kan således opfatte ionosfæren som en fjernsynsskærm, som kan vise effekter skabt af forhold langt ude i magnetosfæren.

Elektriske strømme i Jordens omgivelser

1. Strømme på magnetosfærens overflade

Magnetosfæren får sin karakteristiske form gennem et system af strømme på grænsefladen mellem solvinden og magnetosfærens. Disse strømme induceres her i et tyndt lag, og deres virkning er, at de afgrænser Jordens magnetfelt i rummet. Eksistensen af disse strømme blev oprindeligt forudsagt som transiente fænomener for at forklare eksistensen af nogle karakteristiske magnetiske forstyrrelser på Jordens overflade ved starten af en magnetisk storm. Senere fandt man ud af, at solvinden altid var til stede, og at overfladestrømmene derfor også måtte være det, omend deres styrke ville afhænge af solvindens hastighed. Da man endnu senere opdagede, at solvinden også altid medfører et magnetisk felt, måtte man yderligere revidere opfattelsen af overfladestrømmene, som nu også måtte afspejle variationerne i solvindens magnetiske felt.

2. Ringstrømmen

En anden strøm, som er permanent til stede i Jordens magnetosfære er ringstrømmen. Strømmen forløber, som navnet antyder, i et ring- eller bælteformet område omkring Jorden i en afstand af nogle jordradier fra Jordens overflade. Ringstrømmen har sin årsag i en systematisk drift rundt om Jorden af de elektrisk ladede partikler, som er indfanget på de lukkede magnetiske feltlinier i Jordens indre magnetosfære. Observationer har vist, at den overvejende del af partiklerne i det område, hvor ringstrømmen løber, består af positivt ladede partikler, som foruden protoner fra solvinden også omfatter en betydelig mængde af positive iltioner, som har deres oprindelse i ionosfæren.

Elektrontætheden for de relevante ennergiområder er i dette område er næsten en størrelsesorden mindre en protontætheden, hvilket medfører, at det er de positivt ladede partikler, der er de dominerende strømbærere i ringstrømmen. Da de positivt ladede partikler bevæger

sig mod vest i Jordens magnetiske felt, vil nettostrømmen derfor også bevæge sig mod vest og på Jordens overflade give anledning til at magnetfeltet påvirkes i sydgående retning, dvs. modsat Jordens hovedfelt.

Dansk Satellit i Rummet.

Gennem nogle år har en gruppe personer fra universiteter, forskningsinstitutioner og industriforetagender i Danmark arbejdet med planer om at bygge og opsende den første rent danske satellit. Opsendelse af en sådan satellit er blevet mulig efter at såvel den europæiske rumfartsorganisation ESA som den amerikanske NASA har besluttet at tilbyde relativt billige opsendelser af mikro-satellitter som "secondary payloads" i forbindelse med opsendelse af større satellitter. Da den højst tilladte vægt af disse mikro-satellitter er ca. 60 kg, har det ikke tidligere været anset for muligt at anvende sådanne satellitter til egentlige videnskabelige formål.

I 1992 gav Undervisningsministeriets rumudvalg støtte til at gennemføre en undersøgelse af de tekniske muligheder og de videnskabelige aspekter i et sådant projekt. Som et led heri blev såvel projektets videnskabelige indhold som de tekniske løsningsforslag vurderet af to internationale paneler, hvis rapporter var særdeles positive i deres bedømmelse af det videnskabelige formål og af de danske forskeres mulighed for at gennemføre projektet. På denne baggrund fremsendtes en ansøgning til Grundforskningsfonden, hvor forslaget blev underkastet en grundig evaluering af fire fremtrædende udenlandske forskere, som hver især har givet udtryk for forslagens enestående videnskabelige perspektiver.

I juni 1993 fik Forsknings- og Teknologiministeriet sammen med Industriministeriet og Trafikministeriet finansudvalgets samtykke til at anvende midler til et sådant projekt. En medvirkende årsag til den positive holdning til ansøgningen var, at NASA havde vist så stor interesse for projektets videnskabelige formål, at man havde tilbudt at finansiere hele opsendelsen med en af NASAs raketter mod til gengæld at få del i satellittens måleresultater.

Satellitten, der har fået navnet Ørsted, opsendes med en amerikansk Delta-II raket omkring årsskiftet 1995/1996 og skal i løbet af de følgende år foretage en nøjagtig og detaljeret opmåling af Jordens magnetfeltet og af fordelingen af elektrisk ladede partikler i Jordens omgivelser.

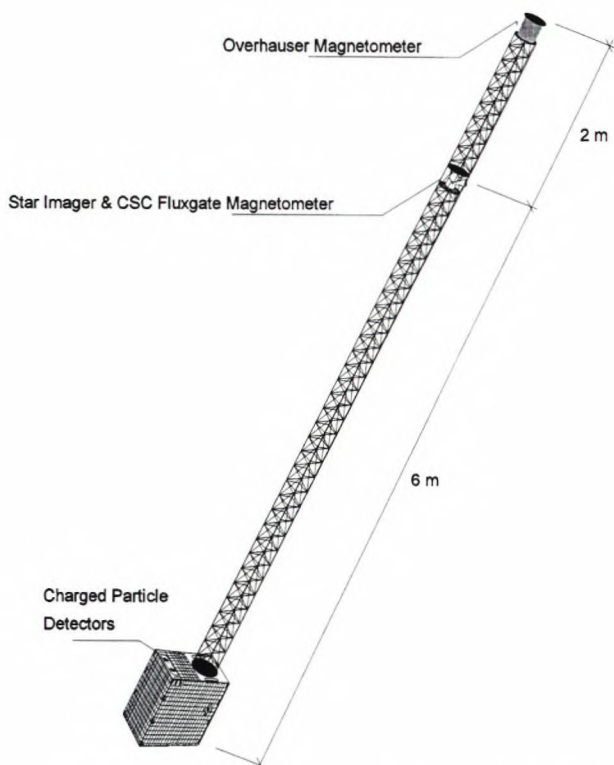
3. Globale ionosfærestømme

Atmosfæren er i stadig bevægelse som følge af termiske bevægelser og tidevandseffekter. Dette gælder også den øverste del af atmosfæren i de lag, der er elektrisk ledende. På grund af disse atmosfærebevægelser opstår et system af strømme, som har en fast beliggenhed i forhold til ret-

ningen mod Solen, idet Solen både er årsag til de termiske bevægelser og til en stor del af tidevandseffekten. Dette globale strømsystem kaldes for Sq systemet, S for Solar og q for quiet. Det sidste for at indikere, at uanset Solens varierende partikeludsendelse og varierende vekselvirkning med Jordens magnetfelt er Sq systemet altid til stede. Målinger har vist, at langs Jordens magnetiske ækvator er strømstyrken af systemet særlig stor, og denne intense del af systemet kaldes derfor den ækvatoriale elektrojet. Årsagen til at strømstyrken her forøges kraftigt er, at der her sker en stærk forøgelse af ionosfærens ledningsevne. Dette skyldes, at magnetfeltet her er horisontalt og at de ioniserede partikler derfor ikke her, som ved polerne, har mulighed for at bevæge sig langs magnetfeltlinierne bort fra det ledende strømlag. Ophobningen af elektrisk ladede partikler er derfor særlig stor og giver anledning til at strømmene derfor er så stærke, at deres virkning også klart kan ses på de magnetiske instrumenter på Jordens overflade.

4. Strømme, som skyldes solvindens overførsel af energi og impuls til Jordens magnetosfære.

Disse strømme består både af en magnetosfærisk del, som bl. a. omfatter strømme langs med Jordens magnetfelt, og en del, som består af horisontale strømme i den polare ionosfære. Disse strømme er meget større end strømmene, som skyldes atmosfærebevægelserne.



Figur 3. Ørsted satellitten i udfoldet stand. Satellitten er beklædt med fotoceller på fem sider.

Målinger af Jordens magnetfelt, såvel med satellit som fra Jordens overflade, vil blive anvendt til at opstille fy-

siske modeller for skabelsen og fordelingen af de elektriske strømme. Sådanne fysiske modeller er nødvendige for at løse nogle af de fundamentale, men stadig uløste spørgsmål vedrørende overførslen af energi fra solvinden til Jordens magnetosfære. Vi ønsker bl.a. at studere, hvorledes denne energi fordeles og midlertidigt oplagres i magnetosfæren indtil energien pludseligt udløses i form af såkaldte magnetiske substorme, som i gennemsnit optræder fire til fem gange i døgnet.

Ved solvindens møde med Jordens magnetfelt afbøjes de positive ioner mod magnetosfærens morgenside (mod vest) medens elektronerne går mod aftensiden (mod øst). Herved opstår en spændingsforskel tværs over magnetosfæren, som til stadighed søges udlignet gennem elektriske strømme. En del af denne strøm går tværs gennem magnetosfærens hale, men en anden del går via de elektrisk godt ledende feltlinier ned til polare ionosfære. Herved opstår en elektrisk potentialforskel tværs over den polare ionosfære fra morgensiden til aftensiden på omkring 100 kV. Dette elektriske felt driver et system af elektriske strømme i ionosfæren i den såkaldte nordlysoval, som kaldes de polare elektrojetstrømme. Disse strømme har en betragtelig størrelse, ofte over 50.000 A, størst når solvindens magnetfelt er rettet mod syd. De elektriske strømme langs de magnetiske feltlinier består fortrinsvis af elektroner, som på grund af deres lille masse er meget mere mobile end protonerne. Der, hvor elektroner strømmer ned mod ionosfæren (opad rettede strømme), vil de ved sammenstødet med den øvre atmosfæres atomer og molekyler give anledning til nordlys.

Energirige partikler

Medens de elektriske strømme langs med Jordens magnetiske feltlinier i overvejende grad formodes at være båret af forholdsvis energifattige partikler, indeholder magnetosfæren også en del energirige partikler. Ørsted-satellitten er derfor forsynet med detektorer til at måle både energien og fluxen af de energirige partikler. Specielt ønsker vi at undersøge den detaljerede sammenhæng mellem partikelstrålingen og de elektriske strømme, som måles ved hjælp af magnetometeret. Et andet formål med partikeleksperimentet er at sammenligne den energirige partikelstråling i rummet med målinger af partikelstråling på Jordens overflade. Målingerne fra Jorden foretages ved hjælp af en ny teknik, som kaldes et "imaging" eller billeddannende riometer. Et riometer måler hvor meget af den kosmiske radiostøj, der er absorberet under signalets vej gennem Jordens ionosfære. Den stedfundne absorption vil bl. a. være afhængig af ionosfærens øjeblikkelige indhold af elektroner. Ved anvendelse af samtidige målinger i forskellige retninger, kan man ikke alene måle den gennemsnitlige absorption på stedet, men også den rumlige fordeling og en eventuel bevægelse hen over synsfeltet af områder med forhøjet absorption. Herved kan man få fremstillet et billede af ionosfærens egenskaber i et område på ca. 200 gange 200 km omkring instrumentet. Der er derfor planlagt specielt omfattende målinger på

satellitten, når den passerer de magnetiske feltlinier, der skærer Jordens ionosfære i et sådant område. I øjeblikket eksisterer ca. 5 sådanne faciliteter på den nordlige halvkugle samt et par stykker på Antarktis. Men da "imaging" riometeret baserer sig på en helt nyudviklet teknik, forventes antallet af sådanne forskningsfaciliteter forøget kraftigt inden Ørsted-satellittens opsendelse.

En danskbygget satellit

Ørstedprojektet er blevet til i et omfattende samarbejde mellem industrivirksomheder, forskningsinstitutioner og universiteter. De involverede industriforetagender omfatter bl. a. Computer Resources International (CRI), Per Udsen Company og Terma Electronics.

CRI står for koordinationen af indsatsen af de involverede industrivirksomheder gennem varetagelse af funktionen som "project manager". En del af CRIs opgaver omfatter at integrere satellitten og dens last af videnskabelige instrumenter. Herudover skal CRI udvikle det program, som skal bruges i selve satellitten samt opbygge og drive et satellitoperationscenter som skal kommunikere til satellitten via de satellitstationer, som etableres i Danmark til modtagelse af signaler og data fra Ørsted-satellitten. Per Udsen Company vil stå for den mekaniske opbygning af satellitten samt den meget specielle mast, som skal bære de magnetiske måleinstrumenter. Masten er en videreudvikling af et japansk patent og det vil være første gang en sådan mast anvendes til præcisionsmålinger af det magnetiske felt og dets retning.

Terma Electronics har som hovedopgave at sørge for satellittens strømforsyning samt at udvikle og fabrikere hovedcomputeren om bord på satellitten. Ud over disse tre hovedparter i samarbejdet, bidrager flere mindre industrivirksomheder og teknologiske institutter til projektet.

Danmarks forskningsmæssige rolle

Danmark er på mange måder i en enestående position til at foretage forskning vedrørende de fysiske processer, som er forbundet med vekselvirkningen mellem Jordens magnetfelt og de partikler og felter, som stammer fra Solen. I Grønland har Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) gennem mange år opbygget et net af geofysiske observatorier. Med opsendelse af Ørsted-satellitten til at foretage direkte målinger i rummet, vil man få mulighed for undersøgelser af koblingen mellem solvinden og Jordens magnetfelt, som det ikke hidtil har været muligt at foretage.

I Ørstedprojektet vil DMI, foruden varetagelse af den nationale og internationale koordinering af den forskningsmæssige indsats, primært tage sig af forsknin-

gen vedrørende det ydre felt, dvs. bl. a. vekselvirkningen mellem solvinden og Jordens magnetfelt. En tredje af instituttets hovedopgaver bliver at etablere og drive det videnskabelige datacenter, som skal foretage den grundlæggende bearbejdning af alle satellittens måleresultater, således at de kan anvendes af de danske og de udenlandske forskergrupper. Endelig har DMI til opgave at udvikle og fremstille et instrument til måling af de energirige partikler.

Dansk Rumforskningsinstitut og Danmarks Tekniske Universitet har i mange år arbejdet med at fremstille og anvende meget følsomme magnetometre. Sensorerne i vektormagnetometeret er fremstillet af det nye materiale, metalglas, som besidder ganske særlige egenskaber, som gør, at det er muligt at måle meget små magnetfelter, helt ned til 10 picoTesla (0.01 nanaTesla). En måling med stor nøjagtighed af de tre vektorkomponenter i satellittens koordinatsystem har imidlertid ingen værdi, med mindre man også med meget stor præcision kan referere den målte retning til en nøjagtigt fastlagt retning i Jordens (eller stjernernes) koordinatsystem. Til dette formål er udviklet et stjernekamera, som til stadighed kan give oplysning om vektormagnetometerets orientering i rummet med en nøjagtighed, der er langt bedre end de 20 buesekunder, som hidtil har været anset for den opnåelige grænse med så små systemer.

Geofysisk Afdeling ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet vil tage sig af analysen af Jordens indre felt.

Internationalt samarbejde

Satellitten er dansk, og indeholder foruden de omtalte dansk udviklede instrumenter også en stor mængde dansk udviklet højteknologi, som f. eks. en letvægtsmast på 8 meter, som har den stivhed som sikrer, at de følsomme magnetfeltssensorer måler feltet i et ganske veldefineret koordinatsystem. Ålborg Universitetscenter har ansvaret for at udvikle et kompliceret servosystem, som ved hjælp af strømme gennem tre på hinanden vinkelrette spoler samt eksistensen af Jordens magnetfelt kan dreje hele satellitten i den til enhver tid mest fordelagtige position, såvel med henblik på optimal udnyttelse af solpanelerne som med henblik på retningen af stjernekameraets linse, som selvfølgelig ikke må pege mod Solen. Positionsbestemmelsen på denne satellit er også simpel, men meget mere nøjagtig end man har kunnet måle med tilsvarende geomagnetiske satellitter. Man benytter simpelthen en kommerciel GPS modtager og har dermed på stedet den korrekte position, som kan sendes ned til Jorden sammen med de tilhørende data. Ved Magsat satellitten, kunne man først efterfølgende indføje positionsbestemmelsen, som i dette tilfælde var beregnet på baggrund af observationer på Jorden af satellittens egne radiosignaler.

Såvel de nye teknologiske principper, der er anvendt i Ørsted-satellitten som de videnskabelige aspekter, som den høje målenøjagtighed medfører, har skabt en betydelig international interesse for projektet. Denne interesse

har Ørstedprojektet ønsket at udnytte i form af et stærkt internationalt samarbejde. Ørstedprojektet udsendte derfor i november 1993 et "Announcement of Opportunity", hvor man udbad sig korte forslag fra internationale forskergrupper vedrørende videnskabelig anvendelse af Ørsted-satellitens data. Den internationale reaktion herpå var overvældende. Ialt 77 forslag repræsenterende mere end 200 forskere fra 55 institutioner i 17 lande blev modtaget. Projektet har på baggrund af de modtagne korte forslag nu rettet henvendelse til forslagsstillerne og anmodet om mere detaljerede forslag, som skal danne grundlag for udvælgelsen af en række forskerhold til at arbejde med specifikke problemer inden for udforskningen af Jordens magnetfelt og dets virkninger.

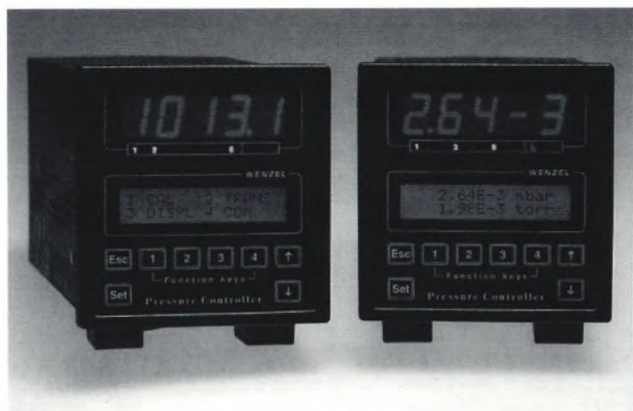
Blandt de mange forslagsstillere vil en udvalgt gruppe blive anmodet om at deltage i en "Ørsted Science Advisory Committee", som skal være rådgivende for den danske vi-

denskabelige projektledelse for at sikre, at de indsamlede målinger kan få så stor en videnskabelig anvendelse som overhovedet muligt.



Eigil Friis-Christensen er geofysiker og ansat ved DMI. Han interesserer sig især for energioverførslen fra Solen til Jordens omgivelser

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



PRC X1

1x10⁻⁵ TO 1999.9 mbar.

DUALTRANS MICROPIRANI PIEZO

WENZEL VAKUUM TEKNIK har i 23 år solgt ALCA-TEL's vakuumprodukter i Danmark; men trods særdeles stor salgsfremgang i 1994, har ALCATEL pludselig valgt en ny partner. WVT vil dog stadig tilbyde alle vore AL-CATEL kunder fuld mekanisk og elektronisk service på alle vakuumprodukter. Vort store og ofte lagerførte program i standard vakuumfittings til konkurrencedygtige priser er helt uafhængig af ændringen, og gennem ny leverandører kan vi stadig til byde vakuum-pumper og tilbehør i høj kvalitet til konkurrencedygtige priser. WENZEL ELECTRONICS dansk udviklede præcisions måle- og styreinstrument, 1x10⁻⁵mb – 1999,9 mb, som leveres med certifikat for sporbarhed, er blevet en stor succes, og vi fortsætter med udviklingen af ny produkter, ligesom vi fremstiller flere og flere specialanlæg til f.eks. sputtering eller elektronkanonfordampning, afgangning og vakuumimprægnering, massespektrometeranalyse etc.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER • VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLØKSØGERE & MASSESPEKTROMETRE • SPUTTER- ELEKTRONKANON & ÆTSEANLÆG • RF & HV STRØMFORSYNINGER • RUSTFRI SPECIALKAMRE & DELE • OMBYGNING AF VAKUUMANLÆG

**WENZEL VAKUUM TEKNIK APS • NYBROVEJ 283 • DK-2800 LYNGBY • TLF. 45 87 97 35
SHOWROOM, SERVICE, LAGER • NYBROVEJ 193 • BIL 30 42 63 00 • FAX 45 93 32 93**