Mars

Jens Martin Knudsen, Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet

Indledende bemærkninger

Visse problemer har - i forskellige former - optaget menneskene siden civilisationens begyndelse. Lad os opsummere nogle af disse spørgsmål i vore dages sprog:

1) Hvad er stoffets mindste bestanddele? Atomerne består af kerner og elektroner. Atomkerner består af protoner og neutroner. Protoner og neutroner består af kvarker, og kvarker ...
2) Er Universet endeligt? Nært beslægtet med dette spørgsmål er sammenhængen mellem rum, tid og stof. Er den almene relativitetsteori det endelige svar?
3) Har Universet haft en begyndelse? Hvis dette er tilfældet, hvorfor og hvordan har strukturer som galakser, stjerner og planeter da udviklet sig? Evolutionen i denne den videste betydning af ordet leder til:
4) Hvor og hvorledes er kronen på Universets udvikling, livet selv, opstået?

Som kommentar til punkterne 3 og 4 kan følgende anføres.

Et fundamentalt forskningsprogram i det næste århundrede vil blive at undersøge, om Jorden er enestående i Mælkevejen. Stærkt forbundet med dette problem er spørgsmålet om livets oprindelse og kosmiske udbredelse. Sådanne spørgsmål studeres ved at søge efter planeter omkring andre stjerner eller ved at sammenligne Jorden med de øvrige faste legemer i solsystemet. Mars, den planet, der ligner Jorden mest, vil spille en afgørende rolle i sådanne bestræbelser.

Et væsentligt mål i sammenligningen af Jorden og Mars er at konstatere, om der nogensinde har været biologisk aktivitet på Mars. Uanset, om man finder fossile eller nutidige biokemiske reaktioner på Mars, altså uanset, om der nogensinde har været liv på Mars eller ej, vil resultatet af undersøgelserne have dybtgående indflydelse på vor opfattelse af Jorden som planet.

Solsystemets dannelse

Vort planetsystem dannedes ved kondensation i den primitive solare sky, d.v.s. den skive af gas og støvkorn, der omgav den nyfødte stjerne, vi kalder for solen. Disse processer fandt sted for 4,6 milliarder år siden. Skiveformede støvskyer omkring nyfødte stjerner er nu blevet observeret. Figur 1 viser stjernen β-pictoris, der kan observeres fra den sydlige halvkugle. Billedet - optaget i det nære infrarøde, 890 nm - viser en fladtrykt skive af støv. Skiven, der ses fra kanten, strækker sig ud til en afstand af ca. 400 astronomiske enheder fra stjernen [1 astronomisk enhed ≡ jordens middelafstand fra solen]. Lyset, der detekteres i teleskopet, er stjernelys fra β-pictoris. Lyset er reflekteret fra de små partikler i skiven. Det direkte lys fra stjernen selv er blokeret for at få den svagere lysende skive til at træde frem. Vi er her vidne til dannelsen af et system af planeter, på samme måde som f.eks. Jorden og Mars dannedes i den sky, der omgav vor egen stjerne, solen.

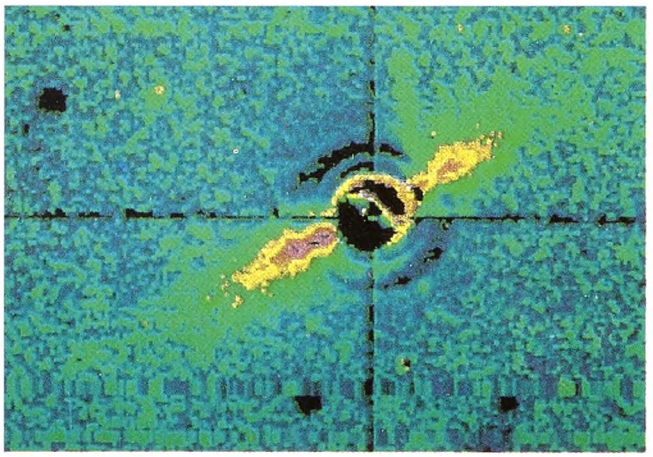
Studiet af Mars er en del af de almene bestræbelser, der går ud på at forstå dannelsen og udviklingen af planetsystemer. Overflademineralerne, atmosfæren og hydrosfæren på Mars indeholder væsentlige oplysninger om de processer, der fører til dannelsen af planeter. En sky af gas og støv, der omgav den nydannede sol - lig den sky, der idag omgiver β-pictoris - har altså udviklet sig til vort planetsystem, og alt hvad dette indeholder.

BOKS 1
Radioaktive stoffer i naturen

Lad os antage, at vi har en beholder, der er fremstillet af et ideelt varmeisolerende materiale. Varme kan altså hverken undslippe eller trænge ind i beholderen. Vi tænker os nu et stykke granit, f.eks. en brosten, anbragt i beholderen. Hvilke forandringer vil der ske i beholderen?

Hvis beholderen undersøges efter et par års forløb, vil der næppe kunne konstateres ændringer. Efter nogle hundrede tusinde år vil temperaturen i beholderen være steget, og venter man 100 millioner år, vil granitten være smeltet! Årsag: Granitten indeholder små mængder af radioaktivt U, Th og K. Disse radioaktive kerner produceres i supernovaeksplosioner, og forekommer i meget små mængder i alle mineralkorn, der dannes og inkluderes i planeterne. Den varme, de radioaktive stoffer producerer, er en energikilde for den varmekraftmaskine, der driver planeternes udvikling. Her på Jorden er disse stoffer f.eks. en medvirkende årsag til vulkanudbrud og kontinentaldrift. Måske er den varme, som de radioaktive stoffer producerer, også en medvirkende årsag til, at vi har oceaner. Hvis U, Th og K ikke var tilstede, ville vandet på Jorden sandsynligvis sidde som krystalvand og permafrost i Jordens yderste lag.

Mars er mindre end Jorden og har således større overflade i forhold til sit volumen end Jorden. Mars kan derfor nemmere komme af med den varme, de radioaktive kerner producerer. Mars har idag ingen kontinentaldrift, intet flydende vand, måske ingen aktive vulkaner, og en meget tynd atmosfære. Hvilken rolle har U, Th og K spillet for udviklingen af Mars? Rumsonderne til Mars medbringer udstyr til måling af forekomsten af radioaktive stoffer på planeten.

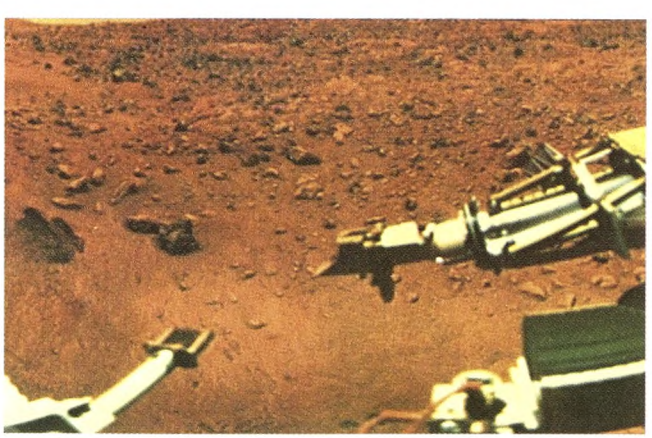


Figur 1. Sky af støvpartikler omkring stjernen β-pictoris. Skyen er sandsynligvis et planet system i dannelsesfasen.

Detaljerne i sådanne kosmiske processer vil vi måske aldrig nå at forstå fuldstændigt. Eksempelvis har en lille del af den frie energi, der var tilstede i den oprindelige solsky, ført til Mozarts musik og Tolstoys romaner. Ja endog tidsskriftet KVANT er i sidste ende et resultat af udviklingen af en støvsky, af samme natur som den vi idag ser omkring β-pictoris.

Viking Projektet

I 1976 landede to amerikanske rumsonder på Mars i det såkaldte Viking Projekt. Sonderne medbragte fuldt automatiserede kemiske laboratorier, som analyserede den røde jord på Mars (figur 2). Man søgte efter liv i støvet, men fandt det ikke. Derimod afslørede eksperimenterne på Mars nogle overraskende kemiske reaktioner i den røde jord.



Figur 2. Viking sonde på Mars

Eksempelvis: Ved tilsætning af vand afgav det røde støv fri ilt, og Marsjorden kunne syntetisere simple organiske stoffer ud fra kuldioxid og vand, i nogen grad som fotosyntesen her på jorden! De kemiske reaktioner, man konstaterede, synes at være fremkaldt af en jernholdig katalysator, hvis natur dog ikke med sikkerhed blev fastlagt. Resultaterne af undersøgelserne var så overraskende, at det hold af forskere, der stod for de biologiske undersøgelser, så sig nødsaget til

BOKS 2

Er dette et stykke af Mars?



Når en prøve af Mars bliver bragt til Jorden ved hjælp af rumsonder, vil man måske opdage (som så ofte før!): ''Naturen gjorde det først''.

Der findes 8 meteoritter - de såkaldte SNC-meteoritter (SNC = Shergottites, Nakhlites, Chassignites) - som af mange grunde menes at stamme fra Mars. Kor fortalt:

Mineralerne i SNC-meteoritter er mere oxiderede end i andre lignende meteoritter. SNC-meteoritterne indeholder vandholdige mineraler, det gør ingen andre meteoritter af akondrit typen. Krystallerne i SNC-meteoritterne viser, at disse meteoritter er krystalliserede i et anseligt gravitationsfelt, større end et felt på asteroiderne, der ellers anses for meteoritternes moderlegemer.

Oxygenisotopforholdet i SNC-meteoritterne er forskelligt fra basalter på Jorden, måneprøverne og i andre basaltiske meteoritter.

Almindelige meteoritter størknede for $4{,}6\times10^9$ år siden. Krystallerne i SNC-meteoritterne størknede for $1{,}3\times10^9$ år siden eller senere. Ingen asteroide er stor nok til at være vulkansk aktiv flere milliarder år efter, at den dannes. Se boks 1.

Et skråt nedslag af en kæmpemeteorit på Mars har accelereret disse klippestykker til undvigelseshastigheden for Mars ($\approx$ 5 km/s).

På Niels Bohr Institutet undersøger man de jernholdige mineraler i SNC-meteoritterne ved hjælp af Mössbauer spektroskopi. Her studeres hvorledes Fe-joner er fordelt på de forskellige pladser i krystallerne, hvorved man opnår indsigt i meteoritternes termiske historie. Også krystallernes magnetiske egenskaber studeres grundigt, med det formål at forstå, hvorledes Marsjordens betydelige indhold af ferrimagnetisk materiale er opstået.

at konkludere: ''... the Viking results do not permit any final conclusions about the presence of life on Mars''.

De forbavsende kemiske reaktioner i den røde jord på Mars kan måske vise sig at være af betydning netop for studiet af naturvidenskabens største gåde: Livets oprindelse. Sådanne resultater og overvejelser er een af mange årsager til, at bemandede flyvninger til Mars nu overvejes seriøst.

Medens mange forskere mener, at muligheden for at finde selv lavere former for liv på Mars af idag er uhyre ringe, så mener de fleste, at der er en vis sandsynlighed for, at vi på Mars vil finde rester af tidligere liv, såkaldt fossilt liv.

Idag er Jorden og Mars meget forskellige. Temperaturen på Mars er lav (140K - 290K), og der kan ikke eksistere flydende vand på planeten, thi trykket i atmosfæren er for lavt (tryk ≈ 6-8 mb, sammensætning: 95% CO_2, 2,7% N_2, 1,6% Ar, 0,13% O_2, vanddamp og inaktive gasser).
Sådan har det imidlertid ikke altid været. Man har fundet sikre spor af floder og stillestående vand på Mars. Da de to planeter Jorden og Mars blev dannet, var de i det store og hele ens. De radioaktive stoffer (se boks 1) i planeternes indre udviklede varme; vulkaner dannedes på begge planeter, vand pressedes ud af klipperne, floder strømmede, også på Mars.

Da livet opstod på vor egen planet Jorden for mere end 3,5 milliarder år siden, var de kemiske og fysiske betingelser - så vidt vi ved - de samme på Mars som her på Jorden. Senere har klimaet på Mars ændret sig drastisk. Mars var først varm og indeholdt flydende vand ligesom Jorden, men senere blev Mars kold; det flydende vand blev til permafrost, og den tætte atmosfære forsvandt.

Altså: I den første milliard år af Jordens historie opstod livet, og udviklede sig til et punkt, hvor det kunne efterlade sig svage, men synlige spor.

I den milliard år, hvor disse afgørende begivenheder fandt sted her på Jorden, herskede der i det væsentlige samme fysiske og kemiske betingelser på Mars. Det er derfor muligt, at der opstod liv på Mars i denne tidlige periode af solsystemets udvikling.

Hvad mere er: De allerførste spor af livets oprindelse her på Jorden er sandsynligvis slettet (erosion, kontinentaldrift). På Mars er situationen anderledes, og dele af planetens overflade har været uforandrede gennem måske 4 milliarder år. Mars kan således vise sig bedre egnet end Jorden, hvis man ønsker at studere de fysiske, kemiske og præbiologiske begivenheder, der førte til livets opståen.

Kan der være spor af udslukt liv, fossilt liv, på Mars, der venter på at blive opdaget ved en fremtidig ekspedition til planeten?

Forfatteren af denne artikel er af den overbevisning (tro!), at Mars af idag er livløs, og at Mars altid har været uden liv. Men naturvidenskabelige problemstillinger afgøres ikke ved tro eller formodninger, ej heller ved demokratiske afstemninger. Kun eksperimenter er af interesse. Og for spørgsmålet om livets eventuelle kosmiske udbredelse, er det væsentligt ad eksperimentets vej at få afklaret, om Mars nogensinde har produceret biokemiske reaktioner eller ej.

Kommende missioner til Mars

I de nærmeste årtier vil vi blive vidner til en udvidelse af studiet af planeten Mars, kulminerende med den bemandede flyvning til planeten, måske omkring år 2020.

De kommende afsnit vil handle om de missioner, hvor dansk forskning på nuværende tidspunkt er indblandet. Det drejer sig om:

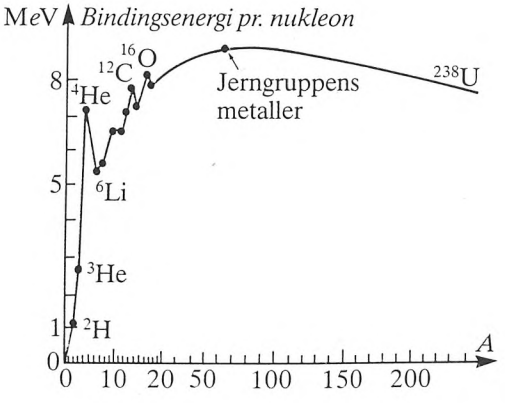
1) den sovjetiske ''Mars-rover''-mission planlagt til 1996 (rover = lille fartøj, der kan køre rundt på planetens overflade).
2) opbygningen af et net (såkaldt Marsnet) af små videnskabelige stationer på planetens overflade. Marsnet er et kombineret europæisk-amerikansk projekt.

De robotstationer, der i de nævnte projekter skal sendes til Mars, vil medbringe videnskabeligt udstyr af vidt forskellig slags: neutrondetektorer, gamma-stråle detektorer, røntgenfluorescens udstyr, og meget andet.

Af pladshensyn vil det være umuligt at beskrive formålet med alle de mange fysiske og kemiske forsøg, der er planlagt. Vi vil begrænse os til en summarisk beskrivelse af de eksperimenter, hvor Danmark er involveret, og af baggrunden for dem. Overskriften på det danske forskningsprogram er: Jern på Mars.

Bemærkninger om grundstoffet jerns kosmiske historie

Lad A være antallet af nucleoner i atomkernerne. Den højeste bindingsenergi per nucleon forekommer i jerngruppens metaller, $50 < A < 60$. Atomkernen ^{56}Fe har den højeste bindingsenergi og er således den mest stabile af alle atomkerner.



Figur 3. Bindingsenergi for atomkerner. Atomkernen ^{56}Fe har den højeste bindingsenergi per nucleon[4].

Den første afgørende rolle for jern i udviklingen af stoffet i mælkevejen begynder, når de centrale dele af en stor stjerne gennem termonucleare processer er blevet omdannet til jern. Der kan da ikke foregå flere energiproducerende fusionsreaktioner, og stjernen undergår en såkaldt supernovaeksplosion, hvorved nydannede grundstoffer spredes ud i det interstellare rum.

I februar 1987 fandt der en supernovaeksplosion sted i Den store Magellanske sky. Eksplosionen betegnes

SN1987A. Gennem en periode på et par år aftog lysstyrken af SN1987A eksponentielt med en halveringstid på 78 dage. Energien til denne lysudsendelse blev leveret af nyligt syntetiseret radioaktivt ^{56}Co, der henfaldt til ^{56}Fe. Eller mere præcist:

$$^{56}\mathrm{Ni}\ (T_{1/2} = 6\mathrm{d}) \rightarrow {}^{56}\mathrm{Co}\ (T_{1/2} = 78\mathrm{d}) \rightarrow {}^{56}\mathrm{Fe}$$

Man har beregnet, at den mængde jern, der er produceret i SN1987A har en masse svarende til 70 gange planeten Jupiters masse. SN1987A har, via studiet af lyskurven og studiet af udsendte gamma-stråler, leveret det første direkte eksperimentelle bevis for, at grundstoffet jern (og andre grundstoffer) produceres i supernovaeksplosioner.

De ny-syntetiserede grundstoffer spredes ud mellem stjernerne, danner molekyler og støvkorn, der inkluderes i interstellare skyer. Fra sådanne skyer opstår nye stjerner, og i det mindste een af disse stjerner er omgivet af planeter.

Jernets vej fra supernovaeksplosioner, over kometer, primitive meteoritter (kulkondritter) og asteroider til planeter, undersøges på mange måder og af mange grunde.

Jern er det hyppigste metalliske grundstof i vort solsystem, og jern forekommer i mindst tre forskellige oxidationstrin: Fe(0) (metallisk jern), Fe(II) og Fe(III). Der er en (svag) mulighed for, at Fe(IV) er tilstede på Mars. Det er ligeledes velkendt, at jern er den essentielle jon i mange magnetisk ordnede forbindelser, hvad enten der er tale om den ferro-, ferri- eller antiferromagnetiske tilstand. På grund af grundstoffet jerns store hyppighed, og p.g.a. de omtalte kemiske og fysiske egenskaber, kan vi opnå indsigt i dannelsen og udviklingen af planeter gennem studiet af jernforbindelser i og på planetare legemer.

I henhold til den almindeligt accepterede teori for kondensation i den primitive solare sky, gælder eksempelvis følgende: Jo længere fra Solen en planet dannes, jo mere oxideret vil det jern, den indeholder, være. Dette resultat er af indlysende betydning for studiet af jernforbindelser i solsystemet, og helt afgørende for sammenlignende studier af jern på Jorden og på Mars.

Af disse korte bemærkninger skulle det fremgå, at jern er et vigtigt grundstof for studiet af planetsystemets udvikling, herunder for studiet af Mars.

Grundstoffet jern på overfladen af Mars

Grundstoffet jern er årsag til den karakteristiske røde farve af Mars. Årsagerne til krystallinske stoffers farve er mange og varierede, men de forskellige årsager har eet element fælles: farverne produceres ved en vekselvirkning af elektromagnetiske bølger (lys) med elektroner. Farver er så at sige synlige manifestationer af de partikler og vekselvirkninger, der bestemmer materiens struktur, og videnskaben om farver berører en serie af grundlæggende fysiske teorier.

Vi kan ikke i detaljer gå ind på beskrivelsen af de omfattende undersøgelser, der foregår vedrørende farven af Mars, men nøjes med at konstatere:

Studiet af lys reflekteret fra Mars har vist, at elektronovergange i d-skallen af Fe(III)-ioner, herunder det såkaldte "charge transfer band", i een eller flere Fe(III)-forbindelser, er hovedansvarlige for Marsoverfladens reflektionskurve i den synlige og nærinfrarøde del af spektret. Der udføres beregninger af elektronstrukturen af Fe(III)-ioner i naturligt forekommende krystallinske forbindelser med det hovedformål at søge en detaljeret forståelse af lysets reflektion fra Mars, og hermed en identifikation af Marsoverfladens sammensætning. Der kan dog ikke herske tvivl om, at den røde farve af Mars hovedsagelig fremkaldes af, at Fe(III)-forbindelser (via "the charge transfer band") absorberer den blå ende af det synlige spektrum. Reflektionsspektre af Mars fra de områder af planeten, der ikke er dækket af støv, de såkaldte mørke områder, viser, at også klipperne på Mars er meget jernholdige (Fe(II)).

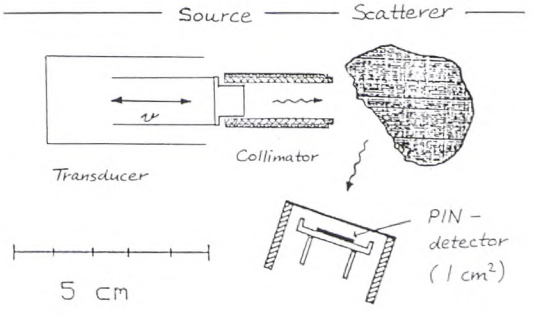
Ud fra røntgenfluorescens målinger udført under Viking missionerne har man bestemt grundstofsammensætningen af Mars-jorden. Det røde støv på Mars indeholder 13% af grundstoffet jern (efter vægt). Viking sonderne var ikke udrustet til at bestemme den mineralogiske sammensætning, men ved hjælp af medbragte magneter fandt man ud af, at Marsjorden indeholder ca. 5% af et ferrimagnetisk materiale.

På grundlag af studiet af reflekteret lys og af eksperimenter udført direkte på overfladen af planeten, ved vi altså med sikkerhed, at jern er et dominerende grundstof på Mars.

En fremragende metode til identifikation af jern-holdige mineraler i naturen er Mössbauer spektroskopi. Teknikken er enestående for studiet af vigtige kemiske og fysiske egenskaber af jernholdige forbindelser, f.eks. oxidationstrin, partikelstørrelse og magnetiske egenskaber. Derfor er et Mössbauer spektrometer en del af nyttelasten i den russiske rover mission til Mars i 1996. Med henblik på Marsnet missionen undersøges muligheden for opsendelse af et yderst følsomt magnetometer og et Mössbauer spektrometer.

Mössbauer spektroskopi på Mars

I dette afsnit vil vi give en skitsemæssig beskrivelse af Mössbauer spektrometeret til Mars missionen i 1996, samt en kort omtale af formålet med Mössbauer spektroskopi på Mars.



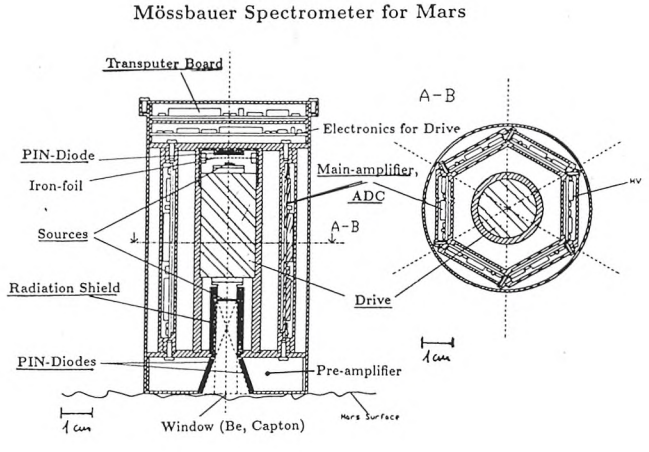
Figur 4. Mössbauer-effekt. Tilbagespredningsgeometri. Kilden (source) for enden af kollimatoren udsender 14,4 keV γ-stråling. Detektoren ser kun stråling, der reflekteres fra materialeprven, da kollimatoren afskærmer den direkte stråling. Kilden bevæges med skiftende hastighed, v. Herved fremkomer et spektrum, idet γ-strålens frekvens bliver Doppler-forskudt.

Mössbauer spektroskopi består i studiet af spredt (eller absorberet) lavenergetisk gamma-stråling fra ^{57}Fe i den prøve, der skal undersøges. Se f.eks. reference 4, side 192.

De benyttede gamma-stråler produceres af en radioaktiv kilde af ^{57}Co. Figur 4 illustrerer princippet i Mössbauer spektroskopi i den såkaldte tilbagespredningsgeometri, der vil blive benyttet på Mars. Tilbagespredningsgeometri tillader, at det røde støv og klipperne kan studeres direkte som forefundet. Det er altså ikke nødvendigt med nogen form for manipulering af prøven.

Forberedelsen af Mössbauer spektroskopi på Mars foretages som et samarbejde mellem Rumforsknings Institutet i Moskva, Den tekniske Højskole i Darmstadt og Mössbauer grupperne i København (Niels Bohr Institutet, Danmarks tekniske Højskole og H.C. Ørsted Institutet).

En første udgave af instrumentet er bygget og afprøvet af professor Kankeleit's gruppe ved den tekniske højskole i Darmstadt. I beskeden målestok, bl.a. vedrørende den såkaldte kollimator og de anvendte gamma-stråle detektorer har Mössbauer gruppen på Niels Bohr Institutet ydet væsentlige bidrag, og man fortsætter her, i samarbejde med Darmstadt-gruppen, arbejdet med at optimere systemet. De tekniske krav til instrumentet er store, og der vil i de kommende år foregå studier, såvel i Darmstadt som i Moskva og København af de forskellige aspekter af Mössbauer spektroskopi på en fjern planet.



Figur 5. Prototype af det Mössbauer spektrometer, der skal landsættes på Mars. Spektrometeret er dobbelt: det øverste, "blinde" spektrometer tjener til kalibreringsformål. Spektrometeret er bygget på "Technische Hochschule" i Darmstadt.

En skitse af den udgave af spektrometeret, der foreligger idag er vist på figur 5, og tabel I giver de essentielle parametre for Darmstadt-spektrometeret. Skitsen er muligvis allerede forældet, idet ingeniør Johannes Madsen på Niels Bohr Instituttet netop har udviklet et lille drev, hvis princip er nyt, og som måske vil kunne forbedre instrumentet.

Vi arbejder for øjeblikket på muligheden af at detektere de røntgen flourescenslinier, der exciteres af ^{57}Co kilden i

Tabel I
Parametre for Mössbauer Spektrometeret konstrueret i Darmstadt

Masse	0,6 kg
Effektforbrug	< 2 W
Form	Cylinder.
Højde	180 mm
diameter	90 mm
Telemetri	1 Mbit per transmission
Detektor areal	6 cm^2
^{57}Co kilde, styrke på Mars	9,3 GBq (250 mCi)
Spænding	5 V
Hastighedsområde	±15 mm/s

overfladematerialet på Mars. På denne måde vil man være istand til at foretage en grundstofanalyse af den samme prøve, for hvilken Mössbauer spektret bliver optaget.

Mössbauer spektrometeret skal blandt andet anvendes til følgende:

- at undersøge oxidationsgraden i de allerøverste lag af Marsoverfladen og som funktion af dybden. Oxidationsgraden afspejles f.eks. i forholdet mellem Fe(II) og Fe(III), som lader sig bestemme ved hjælp af Mössbauer spektroskopi
- at identificere de jernholdige mineraler i overfladestøvet og i overfladeklipperne på Mars
- at undersøge den ferrimagnetiske fase på Mars, herunder f.eks. indhold af substitueret Al, Ti, eller andre grundstoffer.
- at undersøge egenskaberne af den magnetiske fase som funktion af temperaturen, idet temperaturvariationen gennem et Marsdøgn udnyttes
- at søge efter den eller de faser, der var ansvarlige for den overraskende katalytiske virkning, som blev opdaget under Viking missionerne
- at undersøge krystallitstørrelsen af den eller de faser, der er hovedansvarlige for Marsjordens reflektivitet i den synlige og infrarøde del af det elektromagnetiske spektrum
- at søge efter magnetiske faser i overfladeklipperne
- at søge efter evt. ligheder mellem SNC-meteoritter og overfladeklipper på Mars (sammenligning af Mössbauer spektre). SNC-meteoritter er en gruppe af meteoritter, der formodes at stamme fra Mars (boks 2).

Vi kan ikke i detaljer diskutere hvert af de mange formål med Mössbauer spektroskopi på Mars. Vi begrænser os til følgende:

Overfladeklipperne på Mars, og også SNC-meteoritterne, indeholder i det væsentlige kun jern i oxidationstrinnet 2+, Fe(II). I modsætning hertil er overfladestøvet på Mars højt oxideret, og jern formodes at være tilstede i støvet ude-

lukkende i formen Fe(III). Fundamentale problemer i studiet af Mars er således:

Hvordan og hvornår blev jernet på overfladen af Mars oxideret? Hvor dybt under overfladen indeholder Marsjorden højt oxideret jern?

Den røde farve af Mars ligner farven af de røde tropejorde på Jorden. Disse tropejorde dannes, hvor klimaet er varmt og fugtigt. Mars af idag er kold og indeholder ikke flydende vand.

Identifikation af jernholdige mineraler på Mars vil hjælpe os til at forstå de kemiske og fysiske processer, der er foregået på overfladen af planeten, thi de individuelle Fe(III)-oxider og hydroxider dannes gennem forskellige processer. Skete oxidationen af jern, da Mars var varmere, og der var flydende vand på planeten? Eller finder oxidation sted den dag idag?

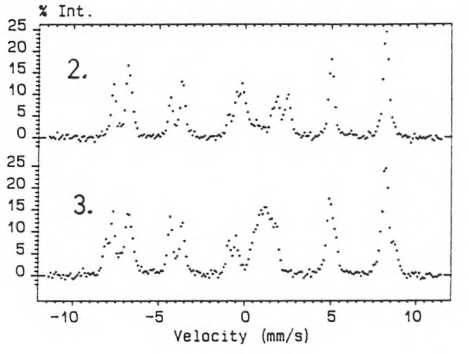
Kold som den er idag, er Mars stadig varm nok til at holde noget vand i atmosfæren. Vekselvirkningen af H_2O med ultraviolet lys er en kilde til stærkt reaktive frie radikaler (OH), der kan oxidere jernet i overfladen. En indre planet kan således bevæge sig mod en mere oxideret tilstand, selvom oxygen produceret ved fotosyntesen ikke forekommer på planeten. Det røde ørkenlignende landskab på Mars viser os måske det sluttelige resultat af sådanne komplekse processer.

Er der, eller har der været biokemiske reaktioner på Mars? Overfladestøvet på Mars synes meget fjendtligt overfor organiske molekyler. De reducerede kulstofforbindelser (proteiner, vitaminer), der blev bragt med i Viking Landerne, blev hurtigt oxideret til CO_2 og H_2O, en proces der står i forbindelse med den superoxiderede tilstand af de øverste lag af Marsjorden.

Hvor dybt går denne zone? Selvom der ikke medbringes boreudstyr på den første rover til Mars, vil man alligevel være istand til at studere aspekter af dette fundamentale problem. De seks uafhængigt drevne hjul på roveren kan grave et stykke ned i overfladelaget. Sprednings Mössbauer spektroskopi kan således give oplysning om oxidationstilstanden af jern i de øverste 20-30 cm af overflademateriale på Mars. Disse afgørende oplysninger kan næppe fremskaffes med noget andet instrument! Kendskab til den kemiske tilstand af det fine støv på Mars er naturligvis af fundamental betydning, og måske vil det overhovedet være vanskeligt at bringe prøver tilbage til Jorden i den samme reaktive tilstand som støvet på Mars befinder sig i.

In situ studier af jernforbindelser på Mars ved hjælp af Mössbauer spektroskopi vil bringe nye - og måske overraskende - resultater.

Som en afslutning på denne korte omtale af Mössbauer spektroskopi på Mars viser vi i fig. 6 et Mössbauer spektrum i tilbagespredningsgeometri. Prøven indeholder en blanding af hematit (α-Fe_2O_3) magnetit (Fe_3O_4) og det ikke-magnetiske ilmenit ($FeTiO_3$). Kendere af Mössbauer spektre vil se, at selvom spektret er kompliceret, kan man klart skelne de tre faser. Det kan meget vel vise sig, at den endelige karakterisering af den magnetiske fase på Mars vil ske gennem Mössbauer spektroskopi.



Figur 6. Mössbauer spektrum i tilbagespredningsgeometri. Øverste spektrum: Ren magnetit (Fe_3O_4). Nederste spektrum: En blanding af hematit (α-Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) og ilenit ($FeTiO_3$).

Måling af magnetiske egenskaber af jernholdige mineraler på Mars

Nedenfor følger en kort beskrivelse af formålet med studiet af de magnetiske egenskaber af overflademineraler på Mars, og derefter en omtale af de foreslåede - og afprøvede - instrumenter til udførelse af målingerne.

Hvis Mars af idag har et dipollignende globalt magnetfelt, skabt af en indre dynamo, er dette felt mindre end en tusindedel af det tilsvarende magnetiske felt på Jorden.

De væsentlige mål med magnetiske undersøgelser er:

- måling af magnetiske egenskaber af - og mulige paleomagnetiske signaturer i - overfladeklipperne på Mars. Hvis man finder forskellige paleomagnetiske signaturer, kan man søge at etablere naturen af det oprindelige magnetfelt.
- at bidrage til identifikation af den magnetiske fase fundet under Viking missionen.
- undersøgelse af solvindens vekselvirkning med Mars, herunder studiet af elektriske strømme i Mars fremkaldt af solvinden.

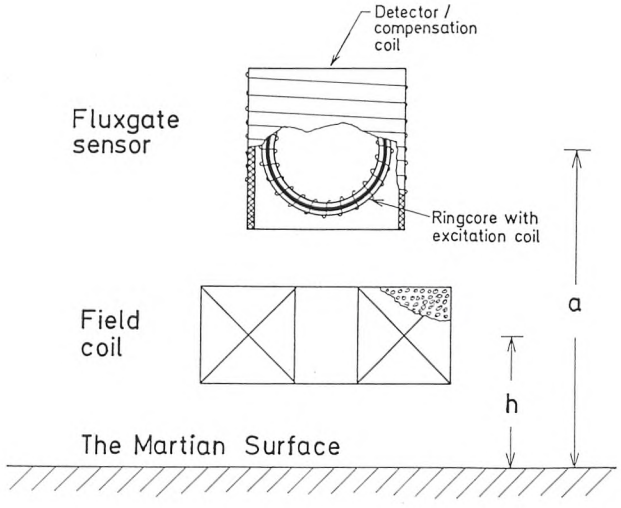
Det er af fundamental betydning for forståelsen af planetens historie, at undersøge om Mars engang har haft et globalt magnetfelt stærkt nok til at efterlade magnetiske signaturer i overflademineralerne. Hvis lokale anomalier i magnetfeltet findes, vil der kunne nås værdier på 100nT måske endog 1000nT nogle få cm fra overfladen. Til sammenligning: Det transiente magnetfelt på overfladen af Mars, skabt af solvinden, er af størrelsesordenen 10nT.

Fra dansk side er der blevet foreslået et enkelt og robust måleudstyr til udførelse af målinger af magnetiske egenskaber af mineraler på Mars-overfladen. Det er under overvejelse i ESA at inddrage det som nyttelast til Marsnet missionen. Kort beskrevet drejer det sig om følgende måleudstyr:

Forkortelser:

ESA:	European Space Agency.
NASA:	National Aeronautics and Space Administration (USA)
SNC:	Forbogstaver i navnene på de tre lokaliteter, hvor meteoritter af denne type er fundet.

Udstyret bygger på et fluxgate magnetometer udviklet over en årrække af O.V. Nielsen, Afdelingen for Elektrofysik, Danmarks tekniske Højskole og F. Primdahl, Dansk Rumforsknings Institut. Dette fine stykke måleudstyr kan måle magnetfelter med en præcision på ca. 5 pT (1 pico tesla = 10^{-12} tesla!)



Figur 7. Principskitse af apparatur til måling af mineralers magnetiske egenskaber på Mars.

Figur 7 viser en skitse af udstyret, som det tænkes anvendt på Mars. Instrumentet består af en magnetiseringsspole, der skal placeres indeni et hult støtteben, anbragt på en arm, der rager ud fra Mars-landeren. Støttebenet er bygget af et ikke-magnetisk materiale. Bunden af det hule støtteben er lukket, således at magnetisk støv ikke kan trænge ind.

Magnetiseringsspolen rører bunden af støttebenet. Et eksempel på en serie af eksperimenter er følgende: En opladet kapacitet udlades gennem spolen og sender et antal på hinanden følgende strømpulser (1 ms) igennem spolen af voksende styrke. Hver puls fremkalder magnetiske signaturer i Marsoverfladen, svarende til strømstyrken i spolen under udladningen. Det magnetiske felt, som efter udladningen frembringes af de således magnetiserede mineraler, måles (efter hvert strømstød) ved hjælp af et fluxgate magnetometer, hvis sensor er anbragt over magnetiseringsspolen[5].

Når den første serie af magnetiseringseksperimenter er udført sendes en ny serie af strømpulser - i modsat retning - gennem spolen, og de magnetiske målinger gentages. Herved opnås kendskab til hysteresekurven for de magnetiske materialer i Marsoverfladen.

Som omtalt foran er det jernholdige mineraler, der skal undersøges med såvel magnetometer målinger som med Mössbauer spektroskopi. Som forberedelse hertil udføres der omfattende undersøgelser af såkaldte ''Mars Sample Analogues''. Man prøver, med det kendskab man idag har til overfladen af Mars, at opbygge et katalog over mulige resultater for eksperimenterne på planeten. Det er vist unødvendigt at retfærdiggøre dette. Rumeksperimenter er vanskelige og kostbare. Sådanne eksperimenter kræver omhyggelig forberedelse.

Afsluttende bemærkninger

Grundlaget for, og perspektivet i, studiet af Mars er således:

Undersøgelsen af gas og støvskyer, der omgiver visse nyfødte stjerner, er et område, hvor astronomi og planetvidenskab mødes med fysik og kemi. Udforskning af Mars vil give os indsigt i nye aspekter af de fysiske og kemiske processer, der fandt sted i den oprindelige solare gas- og støvsky, thi en planets kemiske sammensætning er afhængig af det sted i skyen, hvor planeten dannedes. Samtidig vil studiet af Mars uddybe vor forståelse af planeters udvikling.

Det grundige studium af Mars begyndte i Danmark i årene 1576-1597, da Tycho Brahe studerede stjernehimlen fra sit observatorium på øen Hven. Tycho Brahe's hovedbidrag var meget omhyggelige observationer af planeten Mars gennem 21 frugtbare år. Tycho Brahe's tabeller over bevægelsen af Mars blev, gennem Kepler's analyse, hovedhjørnestenen i den newtonske mekanik. Den moderne udforskning af Mars er en fortsættelse af Tycho Brahe's og Kepler's arbejder. Det videnskabelige studium af Mars har stadig det formål at udvide vort kendskab til strukturen, oprindelsen og udviklingen af solsystemet. I disse anstrengelser søger vi nu også indsigt i de fysiske og kemiske betingelser, der leder til oprindelse af livet selv, den mest forbavsende form af stoffet i Universet.

Referencer:

1. The New Solar System, J. Kelly Beatly and Andrew Chaiken (eds.) (Cambridge University Press 1990).
2. Mössbauer Spectroscopy on the Surface of Mars. Why?, J.M.Knudsen, M.B.Madsen, M.Olsen, L.Vistisen, C.B.Koch, S.Mørup, E.Kankeleit, G.Klingelhöfer, E.N.Evlanov, V.N.Khromov, L.M.Mukhin, O.P.Prilutski, B.Zubkov, G.V.Smirnov, and J.Juchniewicz, Hyperfine Interactions, forår 1992.
3. Marsnet, A.F. Chicarro, M. Coradini, M. Fulchignoni, I. Liede, P. Lognonn, J.M. Knudsen, G.E.N. Scoon, H. Wänke, ESA Publication SCI(91)6
4. Fysikkens Spor, Claus Christensen, Carsten Claussen, Bjørn Felsager (Gyldendal 1990).
5. Possible Magnetic Experiments on the Surface of Mars, O. V. Nielsen, T. Johansen, J. M. Knudsen og F. Primdahl, Journal of Geophysical Research - Planets, under trykning.



Jens Martin Knudsen, dr.scient., lektor ved Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet. Medlem af European Space Agency's ''Mars Science Team''. Konsulent for Sovjetunionens ''Mars-rover team''.