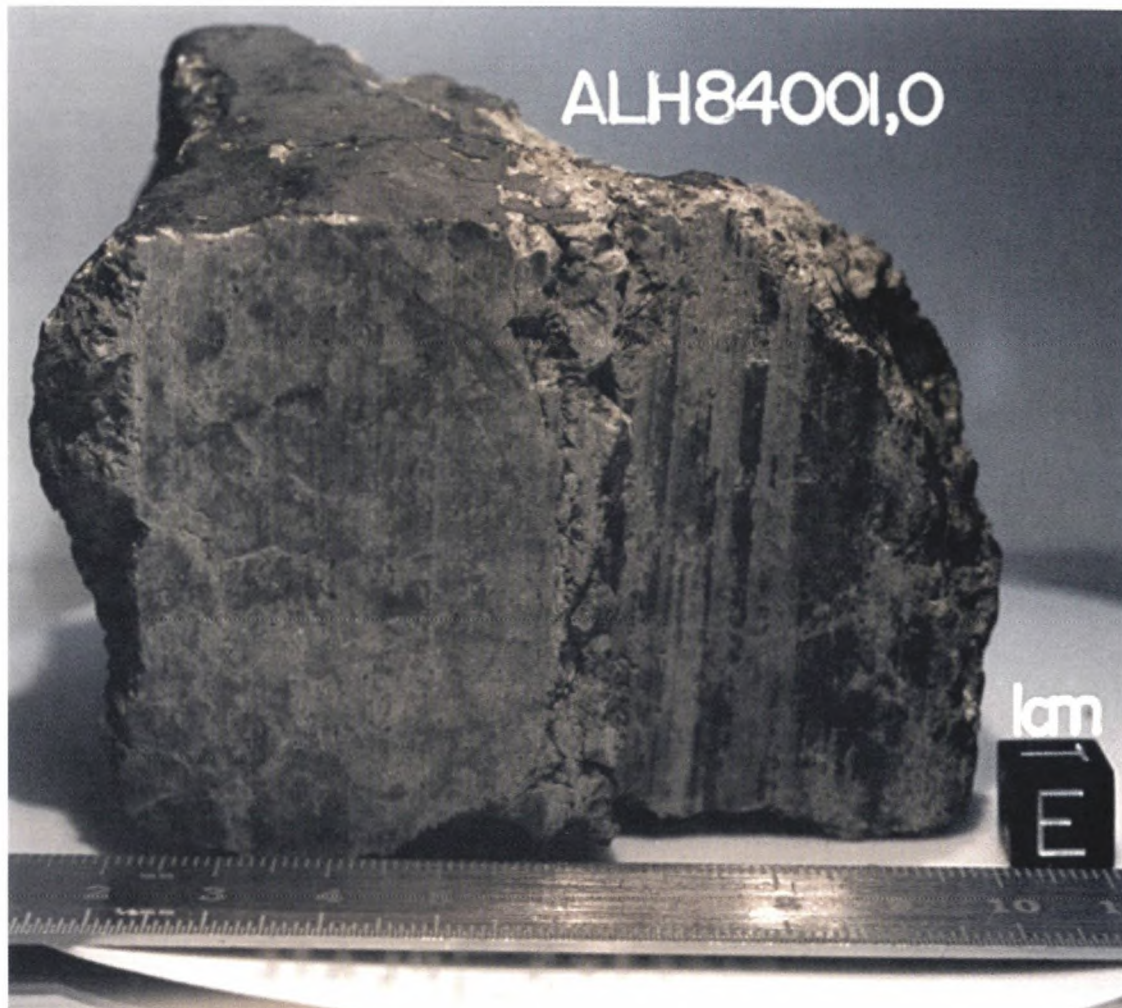


KVANT November 1996 3

Fysisk Tidsskrift

7. årgang



- LIV FRA MARS • METEORITTER FRA MARS •
- DIAMANTER FRA FØR SOLEN BLEV DANNET • METEORITJAGT I ANTARKTIS •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

c/o Ørsted Laboratoriet
Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Telefax : 35 32 04 60
E-mail : kvant@nbivax.nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab



Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Mads Hammerich (ansv.)
Frederiksberg Gymnasium
Rasmus Kromann (annoncer)
Torsten Freltoft
NKT Research Centre
Jørgen Friis Bak
Naturvidenskabeligt fakultet, ÅU
Jørn Christiansen
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

KVANT udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år (i Danmark).

Annoncepriser

1/1 side	3000 kr
1/2 side	1600 kr
1/4 side	1000 kr
Farvetillæg	1800 kr

Priserne er excl. moms og gælder for reprojekteret materiale. Henvendelser om annoncer til Rasmus Kromann, NKT Research Centre, telefon 43 48 35 00, telefax 43 63 00 99.

Oplag: 2000
Tryk: P.J.Schmidt, Vojens
ISSN 0905-8893

Indhold:

Liv fra Mars?

Anja C. Andersen og Morten Bo Madsen 1
Hvad er det egentlig for fund C. S. McKay og hans medforfattere gjorde i meteoritten ALH84001. Forfatterne gennemgår indiciene.

Meteoritter fra Mars?

Lise Vistisen 9
Det er jo en vigtig pointe i diskussionen af ALH84001 og dens mulige indhold af fosilt liv at den faktisk kommer fra Mars. Lise Vistisen giver den korte version af de mange undersøgelser der binder gruppen af SNC meteoritter sammen - og sammen med planeten Mars.

Meteoritter og stjerneudvikling

Anja C. Andersen og Uffe Gråe Jørgensen 15
På et eller andet tidspunkt før solsystemet blev dannet var der en reaktor der kogte de tunge grundstoffer vi består af. Der er nu fundet arkivmateriale der har overlevet næsten uberørt gennem årtusinderne. Submikroskopiske diamanter i meteoritter rummer få atomer af det materiale der blev dannet da en supernova i denne egn af Mælkevejen dannede de tunge grundstoffer.

Stenene på Isen

Anders Meibom 21
I alt to danskere har deltaget i meteoritjagten i Antarktis. En kun delvist forstået transportmekanisme koncentrerer her meteoritter i uhyre tætheder. Anders Meibom beretter om jagten.

Forsiden:

Meteoritten ALH84001. Læs artiklerne side 1, 9 og 21.

Rettelse:

I Tom Bøgeskovs artikel om Newton i KVANT nummer 2, 1996, har der ind sneget sig tre fejl. Det korrekte er: 1) side 5, spalte 1, nederst: $2 \cdot R_S - R_J$. 2) side 7 spalte 1 nederst: $F = -GMm/x^2$. 3) side 7, spalte 2, 2. linie. Der er tale om en energiligning så det skal være $\frac{1}{2}v^2(x_1)$. Tom Bøgeskov mener at I alle har fundet og rettet fejlene, men for en god ordens skyld bringes de her med redaktionens beklagelse.

Artikler modtages!

KVANT modtager meget gerne artikler, forslag til artikler, forslag til temanumre, debatindlæg, og kritik. Indlæg modtages helst på en DOS-formatteret diskette og helst som ren DOS-tekstfil eller som L^AT_EX-kode. Artikler bør være ledsaget af figurer. Stregtegninger i sort på hvidt papir, diapositiver i god kvalitet og højopløste billeder i .TIF eller .EPS format er det foretrukne. Redaktøren vil gerne høre fra kommende forfattere og bistår gerne med uforpligtende råd. Vores beholdning af kommende artikler er nær bunden. Så hvis du mener at det du laver, er værd at meddele andre, er du velkommen til at kontakte mig på adressen: Mads Hammerich, Gersonsvej 40, 2900 Hellerup, Tlf: 39 61 27 30. Abonnement på KVANT koster 135 kr for en årgang. Medlemmer af Dansk Fysisk Selskab og Selskabet til Naturlærens Udbredelse modtager bladet som medlemsblad. Bemærk at studerende kan blive medlemmer hos DFS for 75 kr årligt. Abonnement tegnes hos Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 Kbh Ø.

Liv fra Mars?

Anja C. Andersen og Morten Bo Madsen, Københavns universitet

En meteorit, der stammer fra Mars har leveret indicier – men ikke endeligt bevis – for fossilt liv fra Mars.

Indicierne: Spor af liv?

Det er en vidtfavnende gruppe af forskere fra fem forskellige institutter, ledet af geolog David McKay fra NASA's Johnson Space Center i Houston, Texas, der har gjort følgende fund i en meteorit (ALH-84001), der stammer fra overfladen af Mars:

1. Karbonater og kulbrinter (PAH'er)
2. Yderligere to forskellige mineraler (Magnetit og Pyrrhotit), og
3. Bakteriellignende strukturer.

Forfatterne er nået frem til, at den simpleste forklaring, der samtidig forklarer alle de tilstedeværende fund, er tidlig ("forhistorisk") biologisk aktivitet på den røde planet.

I denne artikel gennemgår vi de tre fund og nogle få af de reaktioner der har været på opdagelserne.

Det er værd at pointere, at gruppen ikke påstår, at de har fundet liv på Mars. De siger heller ikke at de har fundet det endelige bevis for, at der engang har været liv på Mars. De siger blot, at der er meget, der tyder på, at der *engang* har været liv på Mars. Selv denne meget forsigtige konklusion er blevet mødt med dyb skepsis af mange forskere, mens andre tilsyneladende ikke er det mindste overraskede; de har hele tiden "vidst" at der *måtte* være/have været liv andre steder end på Jorden. Selvom alle er enige om, at NASA-gruppen har gjort et godt og grundigt stykke videnskabeligt arbejde, så er der altså en del uenighed om gruppens endelige konklusion. Nogle finder det usandsynligt at det, der er fundet er rester af biologisk aktivitet og derfor bør yderligere undersøgelser foretages. Alle erkender imidlertid, at *hvis* denne kontroversielle fortolkning af fundene er korrekt, er disse fund yderst betydningsfulde.

Hvis det viser sig, at liv engang opstod på Mars uafhængigt af livet på Jorden, tyder det på, at liv opstår og slår rod, hvor der blot er den mindste mulighed for det. Så vidt man ved har klimaet på Mars engang været sammenlignelig med klimaet på Jorden. Meget tyder på, at da livet opstod på Jorden (senest) for ca. treenhalf milliarder år siden, var de kemiske og fysiske betingelser næsten de samme på Mars som på Jorden. Det er Mars' lille masse (kun en tiendedel af Jordens), der er skyld i, at Mars ikke har kunnet holde på varmen og ikke har kunnet fastholde en tæt atmosfære.

Det er henfald af radioaktive grundstoffer inde i Jorden, der er årsagen til at Jorden har en flydende kerne og

at vi på Jorden har aktive vulkaner. Grundet Mars' mindre masse har mængden af radioaktive grundstoffer ikke været stor nok til at holde kernen flydende i en længere periode og meget tyder på, at Mars ikke har været stor nok til at kunne opretholde vulkansk aktivitet helt til nu.

For 16 millioner år siden blev Mars ramt af en meteorit, der var så stor, at stykker af overfladeklipper blev slynget ud i rummet. Efter således at have tumlet rundt i rummet i ca. 16 millioner år, er et af stykkerne landet på Antarktis for 13.000 år siden. I 1984 blev dette stykke af Mars (på 1,93 kg) fundet af en ekspedition, der netop var ved Allan Hills på Antarktis for at samle meteoritter (se Anders Meiboms artikel om meteorit-ekspeditionerne til Antarktis i dette nummer af Kvant). ALH-84001 er mineralogisk så forskellig fra de andre Mars-meteoritter, at den ikke kan klassificeres i een af de eksisterende grupper (SNC = shergottitter, nakhitter og Chassigny). Desuden er den væsentlig ældre end resten af Mars-meteoritterne. Derfor blev ALH-84001 i første omgang fejlklassificeret som en stenmeteorit fra asteroidebæltet mellem Mars og Jupiter. Først i 1994 opdagede man, at det måtte være en Mars-meteorit. Se i øvrigt box 1 med en kronologi for ALH-84001.

Siden begyndelsen af 1994 har man lidt efter lidt fået efterforsket ALH-84001's livshistorie. Aldersbestemmelser ved måling af radioaktive isotoper (Rb/Sr) har afsløret, at ALH-84001 størknede fra et magma for 4,5 milliarder år siden. Dette er meteorittens såkaldte krystallisationsalder. På dette tidspunkt størknede de mineraler, der indeholder grundstofferne rubidium og strontium. Denne størkning fandt sted ved en temperatur højere end 1000 °C, sandsynligvis i de ydre dele af Mars' skorpe, mens en stor del af planeten stadigvæk var (tykt-)flydende.

Størkningen af ALH-84001 fandt altså sted kun ca. 100 millioner år efter at planeterne blev dannet. Senere i sin historie har ALH-84001 været udsat for mindst to chok, måske som følge af meteorit-nedslag; det første for ca. 4,0 milliarder år siden. Dette chok fik klippen til at slå revner. Det er i disse revner man nu har fundet de karbonater, der viser at flydende vand har strømmet gennem stenen for ca. 3,6 milliarder år siden. Meget senere forårsagede et andet meteorit-nedslag, at ALH-84001 blev slynget ud i rummet og fri af Mars.

Hvorfor tror man, at ALH-84001 kommer fra Mars? Svaret på dette spørgsmål er en længere historie, der er fortalt af Lise Vistisen andetsteds i dette nummer af KVANT. Ultrakort drejer det sig om en række karakteristika, hvorved disse meteoritter adskiller sig fra alle andre meteoritter, nemlig deres krystallisationsalder, iltisotopforhold, grundstofsammensætning og endelig fundet af inklusioner af gas i enkelte af disse meteoritter.

Melles Griot makes OPTICS, OPTO-MECHANICS, LASERS, INSTRUMENTS, and FIBER OPTICS



Contact Melles Griot for a fast response to your photonics needs. Our vast product selection described in our detailed product literature will provide solutions for a successful product or experiment.

Whether you need a single lens, or thousands of laser assemblies, Melles Griot is ready to deliver. From a single prototype to full-scale production, we can ship to your schedule. Melles Griot has earned a 25 plus year reputation as a quality manufacturer of optics, opto-mechanics, lasers, instruments, and fiber optics.

We have facilities in North America, Europe, and the Asia Pacific staffed with applications engineers ready to fulfill your requirements. You can reach us by phone, FAX, or the INTERNET.

From simple lenses to advanced fiber optics — Melles Griot is your *first choice* in photonics!

**Call, FAX, or E-mail us today
for your photonics solutions!**

Melles Griot Danmark
Stenagervej 13 • DK-4100 Ringsted
Phone: 53 61 50 49 • Fax: 53 61 60 49
E-mail: 101456.567@compuserve.com



■ OPTICS

- Beam Expanders
- Beamsplitters
- Coatings
- Custom OEM Optics
- Custom Optical Assemblies
- Cylindrical Optics
- Diode Laser Optics
- Filters
- Invaritar Lenses
- Lenses
- Micro Optics
- Mirrors
- Optical Design Software
- Polarizers
- Prisms
- Shutters & Irises
- YAG Lenses

■ OPTO-MECHANICS

- Breadboards
- Optical Tables & Isolators
- Opto-Mechanical Mounts
- Positioning Equipment
- Workstations

■ LASERS

- Diode Lasers & Assemblies
- Helium Neon Lasers

■ INSTRUMENTS

- Amplifiers
- Beam Position Measurement
- Beam Profilers
- Diode Laser Drivers
- Diode Laser Controllers
- Optical Spectrum Analyzers
- Power & Energy Meters
- Power Supplies
- Wavefront Analyzers

■ FIBER OPTICS

- Reflective Fiber Gratings
- Circulators
- Isolators
- Tree Couplers
- Attenuators
- Fiber Collimators

MELLES GRIOT

Canada
(613) 226-5880

France
(01) 3012-0680

Germany
(06251) 84060

Japan
(03) 3407-3614

Netherlands
(0316) 333041

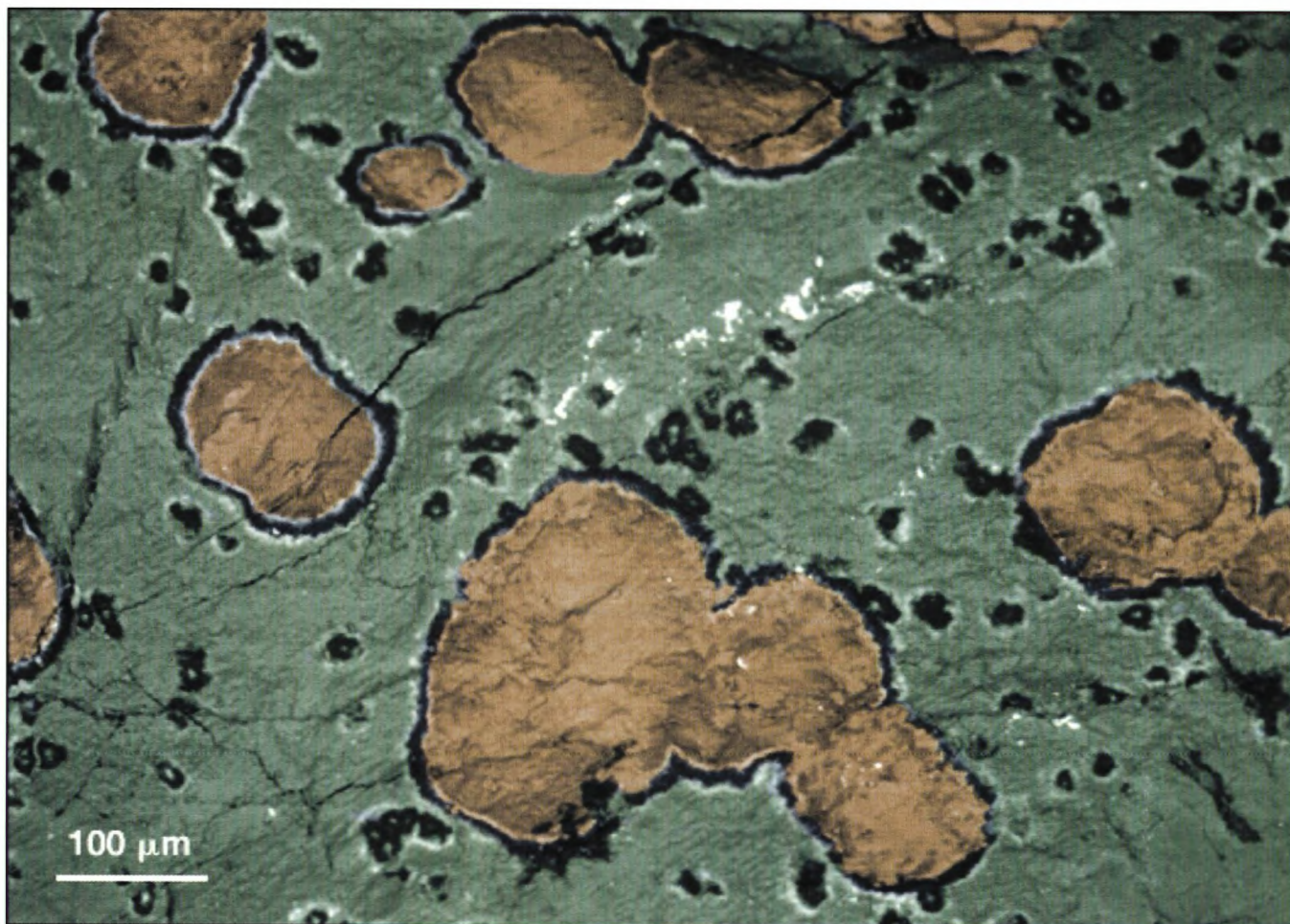
Singapore
743-5884

Sweden
(08) 630-8950

Taiwan
(035) 729-518

United Kingdom
(01223) 420071

United States
(714) 261-5600



Figur 1. Et backscatter electron (BSE) billede i falske farver af det indre af en revne i ALH-84001, som viser fordelingen af karbonatstrukturene. Orthopyroxen er grøn og karbonataflejringerne er orange. Omkring magnesiumkarbonataflejringerne ses en sort kant bestående af magnesit samt en hvid jernrig aflejring. Den lille målestok på billedet er 0.1 mm.

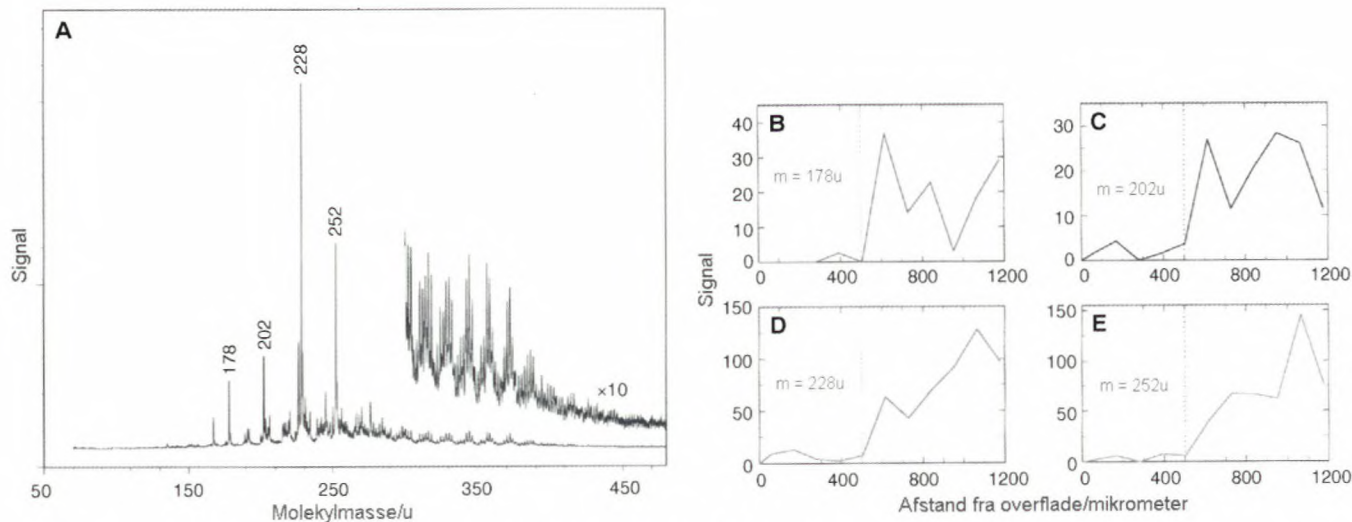
Karbonater og kulbrinter

I ALH-84001 har man fundet cirkulære aflejringer af karbonater med en diameter på 50 - 250 mikrometer, Figur 1. Disse karbonataflejringer kan minde om det, der dannes i et ferskvandsbassin som følge af mikrobiel aktivitet. I de karbonataflejringer, der er fundet i meteoritten har man observeret, at aflejringerne har manganholdige kerner og koncentriske ringe af dolomit (MgCO_3), ankerit ($(\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$), jernkarbonat (siderit, FeCO_3) og områder med relativ høj koncentration af jernsulfider. Disse strukturer tyder på, at de kemiske omgivelser varierede dengang karbonataflejringerne blev dannet, måske som følge af bakteriel aktivitet.

Harry McSween, som er en verdensautoritet på Mars-meteoritter, har for nylig bidraget til en artikel, hvori man bl.a. på basis af karbonaternes morfologi og sammensætning konkluderer at disse, såfremt de skyldes simple kemiske processer, er dannet ved temperaturer, der er betydeligt højere end de temperaturer, hvorunder biologisk aktivitet kan forekomme. Harry McSween har efter offentliggørelse af de her omtalte fund udtalt, at såfremt biologi har været involveret falder grundlaget for konklusionen om højtemperaturdannelse af karbonaterne til jorden. "Med biologi er alt tænkeligt" siger McSween.

Det var meget detaljerede undersøgelser af ALH-84001 på Stanford University, der sidste år førte til, at man kunne afsløre, at ALH-84001 har et relativt højt indhold af de kulbrinter, der kaldes polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH'er), på karbonaterne i de brudflader, der fandtes inde i meteoritten.

PAH'er er en fælles betegnelse for en gruppe af umættede kulbrinter, hvor kulstofatomerne danner en plan ringstruktur med seks kulstofatomer i hver ring. En enkelt ring omgivet af 6 brintatomer kaldes benzen. Flere ringe kan sætte sig sammen og danne større, mere komplekse molekyler. Det NASA-gruppen har fundet i ALH-84001 er sådanne mere komplekse PAH'er, som gruppen mener kan være spor af liv. Her er det værd at nævne, at man også finder PAH'er i det interplanetare støv, i det interstellare støv, på overfladen af grill-bøffer og i udstødningen fra diesel-motorer. Det nye er, at de PAH'er der er fundet i ALH-84001 har en sådan sammensætning, at der er mulighed for at de er dannet som en naturlig følge af biologisk aktivitet, til forskel fra de PAH'er man f.eks. finder i diesel-udstødning. Et oplagt spørgsmål her er: Hvordan kan forskerne vide, at meteoritten ikke blot er forurennet af jordisk liv, så de fundne resultater f.eks. blot viser, at der var liv på sydpolen for 13.000 år siden? Her



Figur 2. Det gennemsnitlige massespektrum af PAH'er fra det indre af en karbonatrig revne fra ALH-84001. Dette spektrum repræsenterer gennemsnittet af 1280 individuelle spektre fra et område med en størrelse på 750 gange 750 mikrometer afbilledet med en rumlig opløsning paa 50 gange 50 mikrometer. Figur B-E viser PAH-signalen for de fire primære PAH'er fra A som funktion af afstanden fra ALH-84001's overflade. Hver graf repræsenterer en afbildning af et snit vinkelret på overfladen, som begynder ved overfladen og fortsætter 1200 mikrometer indad.

har NASA-gruppen været uhyre omhyggelige med deres analyser og de har tjekket alle de tænkelige fejlkilder, de har haft fantasi til at forestille sig. Bl.a. har gruppen sammenlignet koncentrationerne af PAH'er på overfladen af ALH-84001 og inde i meteoritten, se figur 2. Hvis meteoritten var blevet forurenet på Jorden ville man forvente en højere koncentration af PAH'er på overfladen end i meteorittens indre, men faktisk finder de at koncentrationen af PAH'er vokser med dybden under overfladen. Hvis PAH'erne oprindelig hører til i meteoritten ville man netop ikke forvente at finde PAH'er på overfladen. PAH'erne i overfladen ville blive ødelagt eller simpelthen brænde væk under meteorittens fald gennem Jordens atmosfære. Yderligere har forskergruppen sammenlignet ALH-84001 med andre meteoritter, der blev samlet op af samme ekspedition samme sted på Antarktis, og fundet at disse andre meteoritter ikke indeholdt PAH'er, som man ville have forventet, hvis der var tale om jordisk PAH. Gruppen har også foretaget undersøgelser af mulig forurening fra laboratoriet. I det hele taget er der almindelig enighed om, at gruppen har udført nogle meget omhyggelige undersøgelser. Der er altså ingen tvivl om, at man har fundet PAH'er inde i meteoritten. Endvidere tyder alt på at disse PAH'er, ligesom stenen selv, kommer fra Mars. Det man eventuelt kan diskutere er, om tilstedeværelsen af disse PAH'er kan tages som vidnesbyrd for at primitivt liv eksisterede på Mars for 3,6 milliarder år siden.

Yderligere to forskellige mineraler

I karbonataflejringerne er fundet yderligere to mineraler, der kan skyldes biologisk aktivitet. Det drejer sig om magnetit (Fe_3O_4) og pyrrhotit (Fe_{1-X}S ; hvor X er variabel mellem 0 og 1 - oftest mellem 0,11 og 0,13). Undersøgelser af både jordiske bakterier og jordiske sedi-

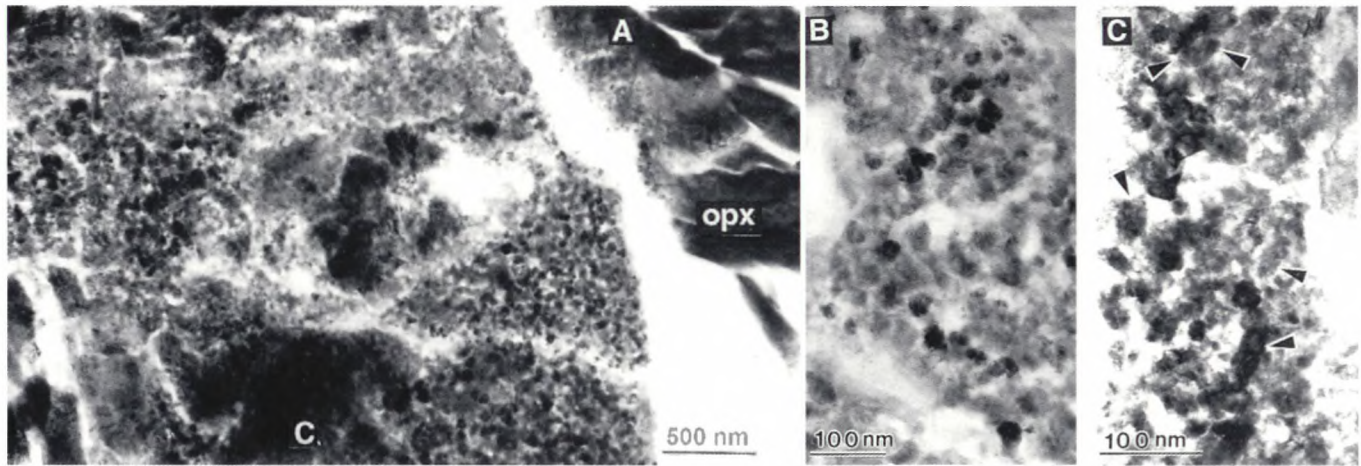
menter og sten har vist, at lige netop disse to mineraler ofte dannes af bakterier som et naturligt biprodukt af stofskiftet.

I ALH-84001 findes disse to mineraler som små partikler ($\sim 10\text{--}40\text{ nm}$) - en størrelse, der er typisk for biogene partikler af disse mineraler. Yderligere findes disse to mineraler meget tæt sammen (få partikel-diameter fra hinanden) i lokaliserede bånd i karbonaterne - et andet træk, der er typisk for jordiske fund af disse mineraler, når de er af biologisk oprindelse, se figur 3. Yderligere har krystallerne af disse to mineraler en facon, der afviger fra hvad man sædvanligvis finder når disse dannes abiotisk. For eksempel danner magnetit ofte små oktaederformede krystaller, hvorimod de krystaller man finder i eller omkring bakterier er afrundede terningformer eller dråbeformede.

Det er meget vanskeligt at finde en simpel ikke-biologisk forklaring på dannelsen af magnetit og pyrrhotit sådan som de findes i karbonaterne i ALH-84001. For eksempel findes mineralerne i områder af karbonaterne, hvor disse ser ud til at være delvist opløste, mens hverken magnetit eller pyrrhotit viser tegn på "ætseskader".

Det betyder, at der kræves en relativt kompliceret "uorganisk" forklaring, mens sådanne strukturer slet ikke er ualmindelige produkter af biologisk aktivitet.

Et stort antal forskellige mikroorganismer udnytter højt oxideret jern som elektronacceptor under stofskiftreaktioner, hvorunder der produceres delvis reducerede jernforbindelser. Også den modsatte proces (oxidation af jern) kan forekomme som en del af det mikrobielle stofskifte. Et eksempel er dannelsen af ferrihydrit (okker), der kan stamme fra mikroorganismer, men også kan finde sted ved fuldstændig uorganiske processer. Under alle omstændigheder dannes de jernholdige mineraler alene som et biprodukt i forbindelse organismens ener-



Figur 3. Transmissionselektronmikroskop (TEM) billede af det indre af en revne fra ALH-84001. Billede A viser i lille forstørrelse den jernholdige kant som indeholder finkornet magnetit og jernsulfider. Billede B er et højopløst billede af et magnetitrigt område fra A som viser fordelingen af individuelle magnetitkrystaller (sorte pletter) inde i en karbonataflejring. Billede C er et højopløst billede af et pyrrhotitrigt område som viser fordelingen af individuelle pyrrhotitpartikler (de to sorte pile ved midten) sammen med magnetit (de andre pile) inde i en karbonataflejring.

giomsætning.

På Jorden er der stor variation i den måde de producerede biomineraler aflejres på. Nogle mikroorganismer aflejrer mineralerne udenfor cellemembranen - og nogle organismer er i stand til at producere både magnetit og pyrrhotit afhængig af hvilke stoffer, der er tilgængelige i omgivelserne, mens andre er mere specifikke. En gruppe af organismer producerer korn af mineralerne magnetit og pyrrhotit og oplagrer disse i kæder, netværk eller tredimensionale matricer indenfor deres egen cellemembran.

Endelig findes en række organismer, der har fundet praktisk anvendelse for disse mineraler. Et eksempel herpå er såkaldte magnetotaktiske bakterier, som indeholder magnetit-krystaller (magnetosomer), der er organiseret sådan at de danner en lang kæde inde i bakterien med det resultat, at de tilsammen danner en stabil magnet. Denne magnet virker som et kompas og sørger for, at bakterien fortrinsvis vil bevæge sig langs de magnetiske feltlinier. På denne måde kan disse bakterier forblive hvor de har optimale betingelser i de relativt iltfattige zoner af de søer, hvori de findes. Sådanne magnetotaktiske bakterier og deres magnetosomer kan bidrage betydeligt til de magnetiske egenskaber af visse jordarter. Om lignende anvendelser af de producerede magnetiske mineraler også kan have udviklet sig på Mars er tvivlsomt, men slet ikke utænkeligt. Det vides ikke med sikkerhed om Mars på et tidligere tidspunkt i sin historie (mens planetens kerne endnu var flydende) har haft et eget magnetfelt ligesom Jorden har det.

Man kan altså, ligesom NASA-gruppen, spørge sig selv, om karbonat-aflejringerne fra Mars har sit indhold af magnetit som følge af biologisk aktivitet og om det, vi ser, dermed er biomineralogiske aflejringer.

Bakterielignende strukturer.

Det fagligt set måske svageste, men mest spektakulære

indicium for biologisk aktivitet er fundet af bakterielignende strukturer. Netop disse strukturers form (se figur 4) bliver af NASA-gruppen tolket som mikrofosser; fossiler af såkaldte nano-bakterier, og netop på dette punkt er det, at kritikken af NASA-gruppens fortolkninger er stærkest. Mange specialister hævder, at lige netop formen ikke er et godt kriterium for at bestemme, om noget er blevet dannet som følge af rent kemiske forandringer i miljøet, eller som resultatet af biologi.

Forfatterne er da også meget forsigtige med deres konklusioner på netop dette punkt. De understreger selv at sådanne strukturer måske kunne være dannet ved udtørring af lerminerale - eller måske være dannet under præparationen af prøven til SEM-undersøgelserne, men dels er der ikke fundet lerminerale i netop denne meteorit - og dels har forfatterne foretaget en række kontroleksperimenter, hvor de har forsøgt at danne lignende strukturer ved præparation af lignende mineraler i andre meteoritter. Det er ikke lykkedes i andre meteoritter at se noget lignende.

En anden indvending er at de fundne strukturer kun er en hundrededel til en tusindedel af den størrelse, de almindeligt kendte jordiske *fossile* bakterier har. Denne lille størrelse har naturligvis givet anledning til spekulationer om, hvorvidt der så overhovedet kan være tale om biologi. Det viser sig imidlertid at der faktisk findes enkelte rapporter om meget små jordiske bakterier 3-10 gange større end strukturerne i ALH-84001, men dette kan hænge sammen med at man først for nylig er begyndt at se efter biologiske organismer på denne skala. Den nødvendige teknik til at finde så små strukturer har ikke traditionelt været anvendt i jagten på mikroorganismer. For eksempel har man fundet en art, *Coxiella*, hvor individer kan være så små som 200 x 400 nm, ligesom man i Columbia River basalt har fundet mikroorganismer, hvis metabolisme minder om den man forestiller sig for de påståede nanobak-

FRA VORT STORE PROGRAM

VARIAN

Turbopumper
Ionpumper
Oliediffusionspumper
Læksøgere
Vacuum måleudstyr
UHV & HV fittings

DCA Instruments

Fremstilling af UHV anlæg til:
Sputterprocesser
MBE
Tyndfilm deponering
Overfladeanalyse
samt kundespecificeret UHV kamre

Lake Shore Cryotronics

Lavtemperatur kontrollere
& sensorer
Elektromagneter & strømforsyninger
Gaussmetre & Hall elementer
VSM (vibrating sample magnetometer)
AC/DC magnetometer - susceptometer

Oxford Applied Research

Reaktive atomkilder
Mini E-beams
Quartz micro vægte
Ioniserede doping
K-celler
Substratholdere i
UHV udførelse
Rheed Guns
Magnetronkilder
Ion cleaning Guns
Fokuserende
elektronkilder
Scanning Ionkilder

Leda - Mass

Quadrupoler / RGA
Windowsbaseret software
Specielt design til
sputterprocesser
ion implantering
tyndfilm
optisk coating
acceleratorer
overfladeanalyse m.m.

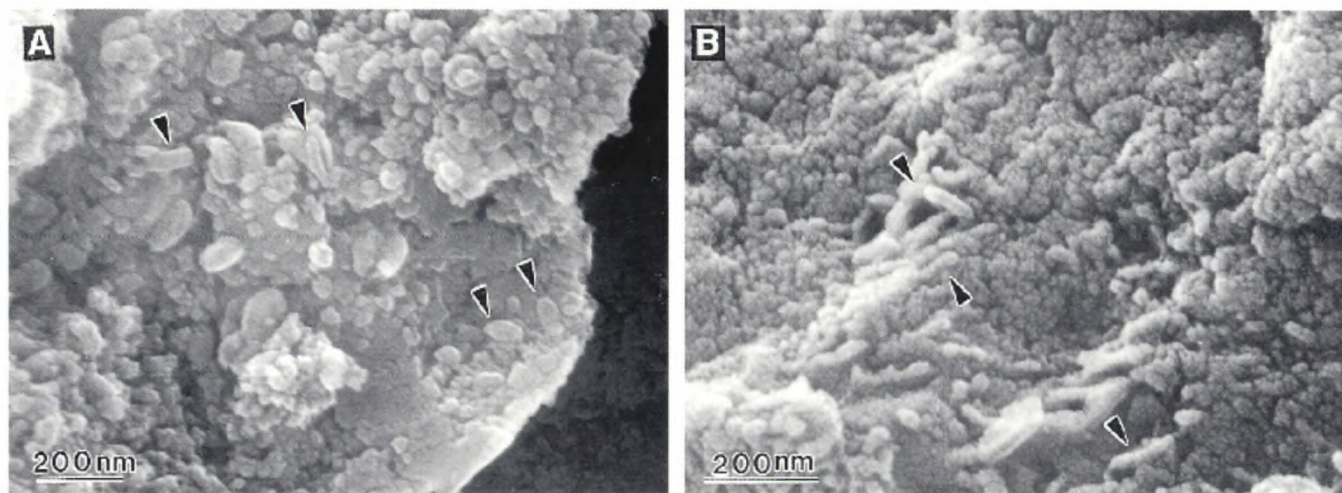
APD cryogenics

Close cycle kryostater ned til 6,5 °K
Open cycle kryostater ned til 2 °K
Cryotiger fra 80 °K til 120 °K
Kryopumper

AAGE CHRISTENSEN A/S

Skelmosevej 10, DK-2500 Valby Tlf. 36 44 24 44 Fax 36 44 20 24





Figur 4. Et højopløst skanningelektronmikroskop (SEM) billede som viser runde og aflange strukturer i forbindelse med karbonat-aflejringerne som findes i ALH-84001. Billede **A** viser overfladen af et jernrigt område, de kugleformede strukturer er omkring 100 nm i diameter (pilene). De mindre runde strukturer kan være det magnetit og pyrrhotit som ses i TEM billedet i figur 3. Billede **B** viser det centrale område af en karbonataflejrning (langt fra kanten) hvor man også kan se nanometer store runde og aflange aflejringer.

terier i ALH-84001. Med hensyn til fund af fossiler er det vigtigt at gøre sig klart at sådanne fund alt taget i betragtning er yderst sjældne. Der kræves helt specielle omstændigheder for at en gang levende organismer senere vil kunne findes - og genkendes - som fossiler. Det at fund af fossile nanobakterier er ekstremt sjældne kan skyldes at sådanne bakterier vanskeligt bevares som fossiler, og at de er vanskelige at opdage. Disse nanobakterier er så små, at de ikke opløses som enkeltindivider i lysmikroskop, men kræver anvendelse af elektronmikroskoper, der ikke i almindelighed har været brugt i søgning efter fossiler. Endelig er det ikke svært at forestille sig at mikroorganismerne vil skrumpet lidt under udtørring og de processer, der er led i fossil-dannelsen.

Som vi har set ovenfor vil hver enkelt af NASA-gruppens opdagelser enkeltvis (måske) kunne forklares som følge af inorganiske processer. Men, hvis man skal finde en fælles forklaring for alle de observerede fakta, så er en biologisk oprindelse faktisk den simpleste forklaring. Det, at NASA-gruppens forklaring er simpel, gør den ikke nødvendigvis sand, men det gør den så afgjort værd at undersøge nærmere.

NASA-gruppen er selvfølgelig i konkurrence med en lang række andre (meteorit-)grupper i gang med at finde yderligere indicier for at deres opdagelser kan forklares som følge af biologisk aktivitet. Et afgørende bevis kunne f.eks. være identifikationen af en cellevæg eller en koloni af celler med eksempler på celler, der er i gang med at dele sig.

Den 1. november offentliggjorde nyhedsbureauet AP udtalelser fra medlemmer af meteoritgruppen ved Open University i London, der underbygger de observationer, der er gjort i ALH-84001. Gruppen har gentaget tidligere undersøgelser med bedre prøver af både ALH84001 og en betydeligt yngre marsmeteorit, EETA79001. Deres studier af isotopforhold for kulstof, der er indesluttet

i glasmaterialer i EETA 79001 bekræfter en biologisk oprindelse af det organiske materiale, hvori dette kulstof sidder.

Det at der nu er fundet mulig indicier for fossilt liv på Mars for mindre end 1,3 milliarder år siden, gør at mange nu spekulerer over om der mon stadigvæk vil være mikrobielt liv at finde på den røde planet idag.

Box 1. Kronologi for ALH-84001.

1. $4,6 \times 10^9$ år siden: Dannelsen af Solen og det første kondenserede stof til planeterne begyndte.
2. $4,5 \times 10^9$ år siden: De mineraler, der senere har været anvendt til dateringen af ALH-84001 størknede.
3. $4,0 \times 10^9$ år siden: Den grundklippe, hvoraf ALH-84001 var en del blev udsat for et kraftigt chok, sandsynligvis som følge af et meteorit-nedslag.
4. $3,6 \times 10^9$ år siden: Den grundklippe, hvoraf ALH-84001 var en del, blev gennemstrømmet af vand med opløste salte og karbonater der aflejrerede sig i revnerne i grundklippen.
5. 16×10^6 år siden: ALH-84001 blev slået fri af Mars' overflade og forlod Mars.
6. 13×10^3 år siden: ALH-84001 landede på Antarktis.
7. 12×10^0 år siden: ALH-84001 blev fundet ved Allan Hills, Antarktis og efter foreløbige undersøgelser på Johnson Space Center klassificeret som en diogenit (en "asteroide-meteorit").

8. 3×10^0 år siden: ALH-84001 blev reklassificeret som en Mars-meteorit.
9. $\text{Ca } 3 \times 10^{-1}$ år siden: Resultaterne af $2\frac{1}{2}$ års arbejde publiceres i Science.

Referencer:

- 1) McKay D. S., Gibson E. K. Jr., Thomas-Keptra K. L., Vali H., Romanek C. S., Clemett S. J., Chillier X. D. F., Maechling C. R., Zare R. N., 1996, *Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001*, Science **273**, 924-930.
- 2) V. F. Buchwald, *Meteoritter – nøglen til Jordens fortid*, Gyldendal 1992.
- 3) Science har internetadressen:
<http://www.science.com>.
- 4) NASA's Lunar and Planetary Institute har en god og frem for alt redigeret hjemmeside på adressen:
<http://cass.jsc.nasa.gov/lpi.html>
- 5) NASA's side om ALH84001 findes på adressen:
http://cass.jsc.nasa.gov/pub/lpi/meteorites/mars_meteorite.html



Anja C. Andersen er ph.d. studerende ved Niels Bohr Institutet og interesserer sig for solsystemets dannelse og Mælkevejens kemiske udvikling.



Morten Bo Madsen er lektor ved Niels Bohr Institutets Ørsted laboratorium. Han interesserer sig for jernminerale og solsystemets dannelse og deltager i udforskningen af Mars's overflade.



VAT Vakuumentile AG

Førende på verdensplan indenfor vakuumventiler



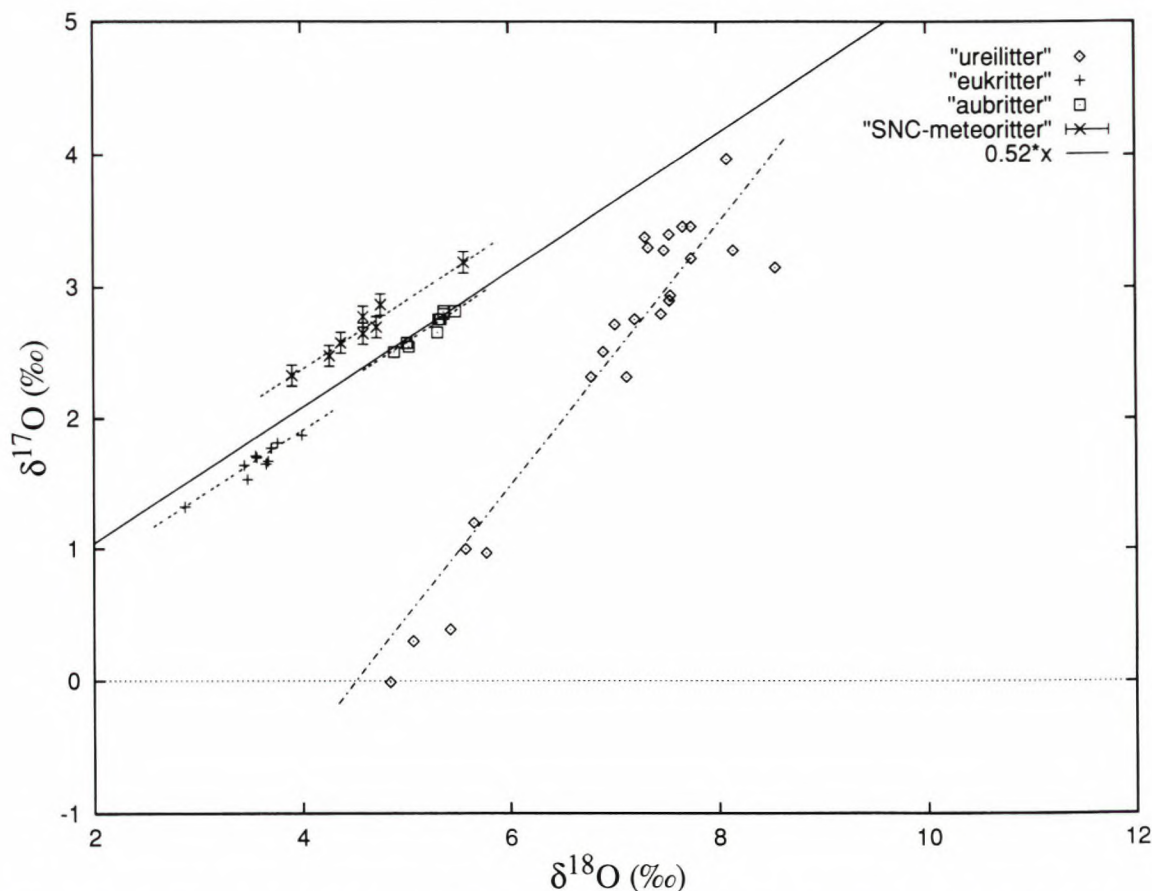
Ventiler, reguleringssystemer og bælge til høj- og ultrahøjvakuum

Størrelser fra DN 16 til DN 400
Certificeret ISO 9001

Repræsenteret af:
Balzers-Pfeiffer Scandinavia, tlf 39 68 32 61
Baunegårdsvej 7L, 2820 Gentofte

Meteoritter fra Mars?

Lise Vistisen, Niels Bohr Institutet, Københavns universitet.



Figur 1. Jordiske stenprøver, månensten, meteoritter og det vi mener er meteoritter fra Mars adskiller sig på flere måder. Her er vist en af de vigtigste.

Andelen af de tunge iltisotoper er målt i meteoritmateriale og i jordisk havvand. Meteoritmaterialets relative afvigelser fra havvands fordeling af de to tunge iltisotoper er plottet mod hinanden. Det ses at disse punkter for tre af meteorittyperne falder på tre rette linier med en hældning på 0,52. Det betyder at disse grupper med stor sandsynlighed stammer fra hver deres moderlegeme. Data fra den omdiskuterede meteorit ALH84001 ligger blandt punkterne for SNC meteoritterne og kæder den entydigt sammen med disse. Andre undersøgelser trækker stærke bånd mellem SNC-meteoritterne og Mars. Se teksten.

Der er efterhånden indsamlet mange tusinde meteoritter. Antallet er vokset meget efter at man er begyndt at samle meteoritter på Antarktis, i Sahara og andre velegnede steder. Meteoritterne opdeles i grupper. Først i chondritter og differentierede meteoritter. Chondritterne stammer fra moderlegemer, der kun har været begrænset opvarmede, mens moderlegemerne for de differentierede meteoritter har været så varme, at frit jern er udskilt og er sunket til bunds, dvs. der er dannet en jernkerne inderst i legemet med en stenkappe udenom. Meteoritterne fra stenkappen kaldes achondritter, og disse opdeles i mindre grupper: eukritter, diogenitter, howarditter, aubritter, ureilitter og endelig SNC-meteoritterne, som ikke rigtigt hører hjemme i de andre grupper (SNC står for forbogstaverne i navnene af 3 karakteristiske meteoritter: Shergotty,

Nakhla og Cassigny).

Ilt-isotoper

SNC-meteoritterne skiller sig fx ud fra de andre achondritter, når man afbilder ilt-isotopforholdene $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ og $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ se figur 1. På figuren er brugt de relative forhold $\delta^{17}\text{O}$ og $\delta^{18}\text{O}$, hvor

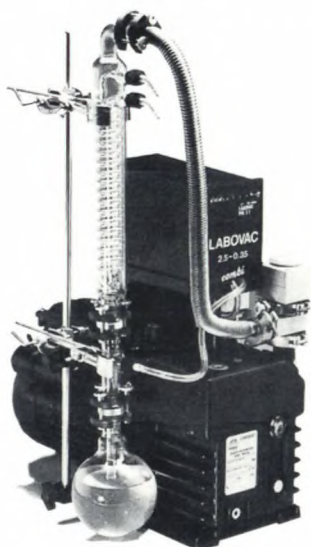
$$\delta^{17}\text{O} = \frac{(^{17}\text{O}/^{16}\text{O}) - (^{17}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{17}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}$$

og

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}$$

Her står SMOW for 'Standard Mean Ocean Water', idet iltisotopforholdet i oceanernes vand bruges som reference.

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



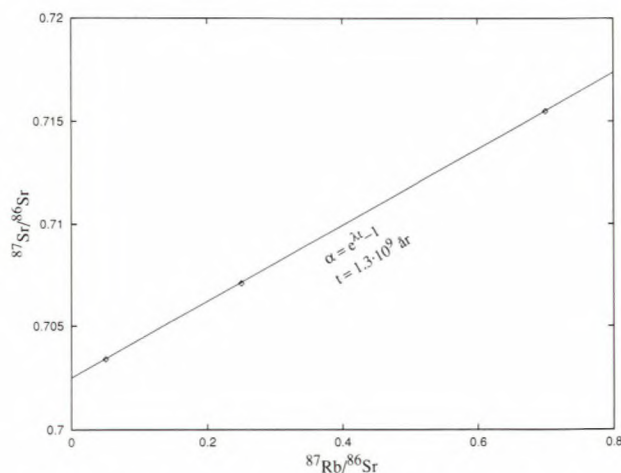
SASKIA HOCHVAKUUM- UND LABORTECHNIK GmbH I ILMENAU er et succesrigt resultat af øst-vest genforeningen i Tyskland. SASKIA's et- og to-trins finvakuumpumper fra 4 til 200 m³h⁻¹ har rotorskiver af et nyt PTFE materiale som sænker støjniveauet med ca. 3 dBA og tillader pumperne at arbejde konstant ved højt tryk eller med aggressive gasser. Med en frekvensregulering kan pumpehastigheden fordobles, så man f.eks. hurtigt kan evakuere et anlæg og derefter anvende pumpen som holdepumpe ved lav hastighed. SASKIA's kemisk resistente membranpumper har liniærdrevne membraner, hvilket sikrer en lang levetid og lavt effektforbrug. En membranpumpe på ca. 30 W kan med de store afgifter på brugsvand hurtigt tjene sig ind, hvis den erstatter en vandstrålepumpe. SASKIA's TOWER pumpestande er kemipumpestande kombineret med kondensatorer og med instrumentering for indstilling af trykket. SASKIA leverer oliefri pumpestande kombineret med turbomolekulpumper i et handy design og rootspumpestande op til 20.000 m³h⁻¹.

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

Hvis alle meteoritter stammede fra samme reservoir i solsystemet, skulle disse forhold ligge på samme rette linie med hældningskoefficienten 1/2 (0,52 når alt tages i betragtning), idet alle ændringer i forholdet ville skyldes en masse-afhængig fraktionering, fx virker adskillelsesmekanismer der drives af diffusion dobbelt så kraftigt på den tunge ¹⁸O ilt-isotop som på den lettere ¹⁷O set i forhold til ¹⁶O. På figur 1 er indtegnet fraktioneringslinien $\delta^{17}\text{O} = 0,52 \times \delta^{18}\text{O}$, hvor prøver fra Jorden og Månen ligger (ikke vist). Det ses, at achondritterne placerer sig i 4 klart adskilte grupper (og andre meteoritgrupper har også hver deres placering i diagrammet). Eukritterne danner én fraktioneringslinie (fælles med diogenitterne og howarditterne), SNC-meteoritterne en anden, aubritterne ligger på Jord-Måne fraktioneringslinien, og ureilitterne følger ikke en fraktioneringslinie. Dette skyldes, at da Jorden og meteoriternes moderlegemer dannedes ud af en sky af gas og støv, var ilt-isotoperne ujævnt fordelt. Eukritterne er beriget i ¹⁶O og SNC-meteoritterne er reduceret i ¹⁶O i forhold til Jorden, mens aubritterne har lighed med Jord-Måne systemet. De tre grupper kan derfor ikke være dannet ud fra det samme ilt-reservoir og har derfor mest sandsynligt forskellige moderlegemer. Ureilitterne må enten stamme fra forskellige moderlegemer eller mest sandsynligt fra et meget

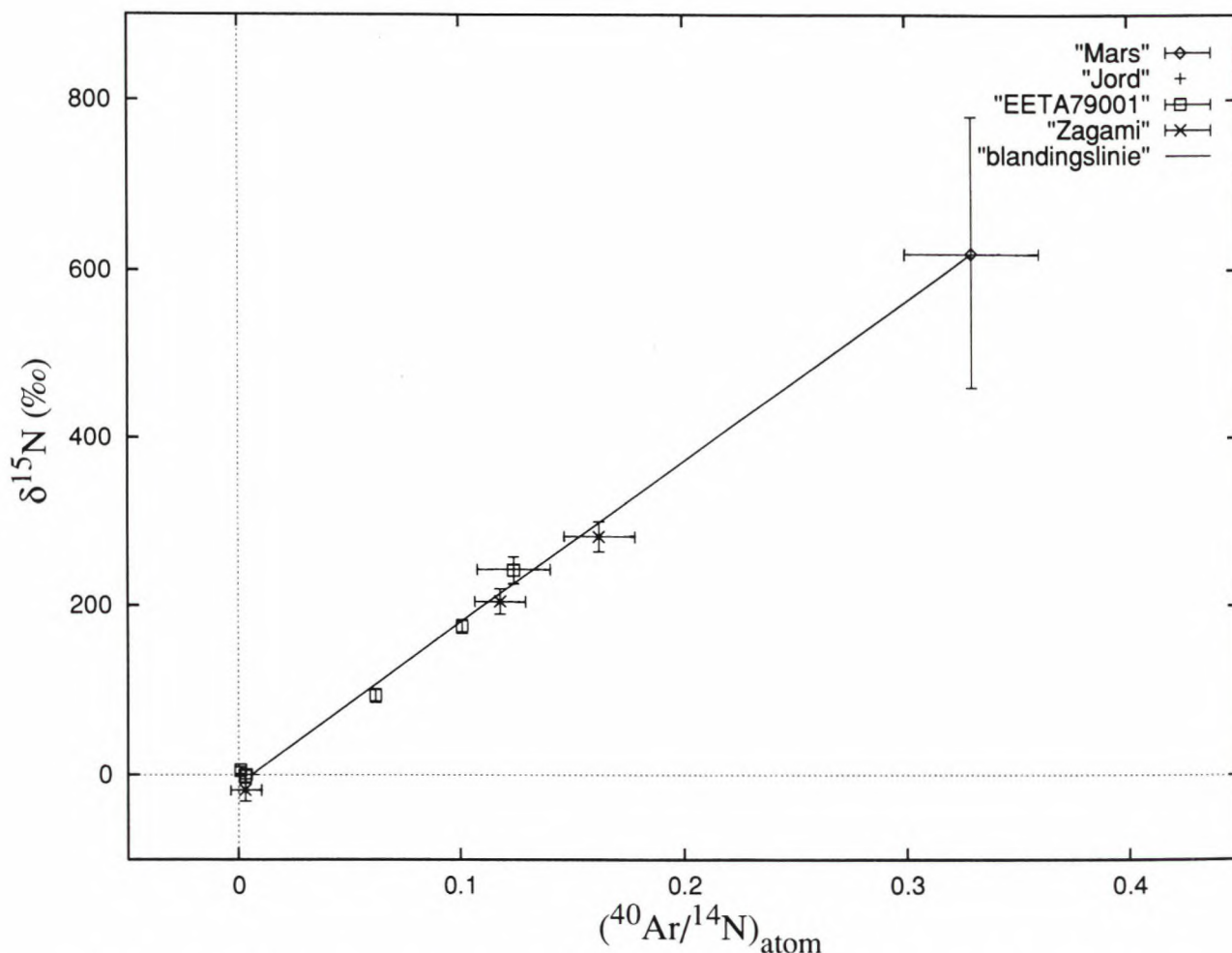
heterogent legeme. Med hensyn til SNC-meteoritterne må det altså gælde, at de kommer fra deres eget moderlegeme, og de andre achondritter har andre tilhørsforhold.



Figur 2. Eksempel på bestemmelse af krystallisationsalder.

Krystallisationsaldr

SNC-meteoritterne grupperes efter hvilke mineraler, de indeholder, hvordan disse sidder i forhold til hinanden, om mineralerne er homogene eller har varierende grund-



Figur 3. Gasser i to SNC-meteoritter og i atmosfæren på Mars og på Jorden (baseret på ref. 2). Blandingslinien forbinder punkterne for Mars og Jorden.

stofindhold fra kanten og indad, hvor store de enkelte mineraler er og på andre karakteristika. Disse grupper svarer til jordiske analoger: basalter, pyroxenitter og dunitter, og umiddelbart kunne disse klippestykker lige så godt være dannet her på Jorden ved vulkanske processer, enten overfladenære som lavastrømme eller i dybereliggende magmakamre.

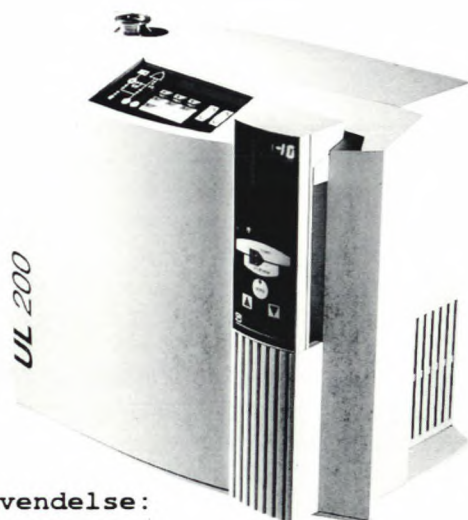
SNC-meteoritterne deles i 4 grupper: 7 shergottitter (efter Shergotty, basalter), 3 nakhlitter (efter Nakhla, clinopyroxenitter), Chassigny (dunit) og endelig ALH84001 (orthopyroxenit), der er kommet til så sent, at den ikke har fået plads i navnet SNC.

Shergottitten Zagami er i den senere tid blevet studeret meget og kan bruges som et eksempel på, hvad man kan slutte ud fra undersøgelser som de ovenfor nævnte. Zagami er kølet svarende til, at den blev dannet indeni en omkring 10 m tyk lavastrøm. Denne lavastrøm indeholdt pyroxener, der var udkrystalliseret i et dybereliggende (og derfor langsommere kølende) magmakammer. Zagami er finkornet, men har også nogle lidt grovere områder, med skarpe grænser mellem de to strukturer. Dette skyldes,

at lavastrømmen ikke var én strøm, men bestod af en serie af lavaudbrud, som sendtes ind i den allerede kølende lavastrøm. Hver enhed var måske kun 30 cm i tykkelse, men da de var indeni en meget tykkere strøm, kølede de langsommere end en 30 cm strøm ville gøre alene.

Ser man på SNC-meteoritternes krystallisationsalder, dvs. hvor længe siden det er, at de størknede i deres vulkanske smelter, så er der 3 aldersgrupper. Shergottitterne er dannet for $180 \cdot 10^6$ år siden, nakhlitterne for $1,3 \cdot 10^9$ år siden og ALH84001 for $4,5 \cdot 10^9$ år siden. Der er dog nogen uenighed om shergottitternes alder. For at forstå dette gives først en lille indføring i, hvordan en sådan alder bestemmes.

Der findes nogle langlivede radioaktive isotoper, og som eksempel bruges ^{87}Rb , der med en halveringstid på $49 \cdot 10^9$ år henfalder til ^{87}Sr . Når en smelte afkøles og krystalliserer, vil nogle mineraler indeholde ^{87}Rb , men de vil ofte også indeholde Sr (og dermed ^{87}Sr), dvs. det ^{87}Sr man måler i dag er summen af det oprindelige $^{87}\text{Sr}_0$ og det der er dannet ved henfald af ^{87}Rb (af praktiske grunde



Læksøger på heliumbasis

Hvilke krav stilles der?

- ★ Hurtig
- ★ Nem og entydig betjening
- ★ Oliefri indsugning
- ★ Robust
- ★ Enkelt service
- ★ Prisbillig

Anvendelse:

- ★ Kvalitetskontrol
- ★ Forskning og udvikling
- ★ Analyseudstyr
- ★ Høj -og ultrahøjvakuum

Leybold ApS
Roskildevej 342A
2630 Tåstrup
Tlf.: 43996444
Fax: 43996544



"normeres" med den inaktive isotop ^{86}Sr):

$$\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)_t = \left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)_0 + (e^{\lambda t} - 1) \left(\frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}}\right)_t$$

Dette er ligningen for en ret linie, som på figur 2, hvis hældningskoefficient er $(e^{\lambda t} - 1)$ og herfra kan alderen bestemmes. For at få nogle punkter til fastlæggelse af linien bruges prøver med forskelligt indhold af ^{87}Rb . På Jorden kan det ofte gøres ved at tage prøver forskellige steder i de klippeformationer, som man undersøger. I meteoritter gøres det ved at måle på forskellige separerede mineraler. Shergottitterne har været udsat for et stort choktryk, og herved er bl.a. feldspatkrystallerne smeltet mere eller mindre. Det er derfor ikke sikkert, at mineralerne kan betragtes som lukkede systemer, men de kan have udvekslet atomer (isotoper) mellem forskellige krystaller, og "uret" kan være blevet nulstillet. Alderen på $180 \cdot 10^6$ år kan derfor være chokalderen. Selve krystallisationsalderen bestemmes så ved at bruge totale prøver (ikke mineralseparation) af forskellige shergottitter. Herved fås en krystallisationsalder på $1,3 \cdot 10^9$ år. Ved den sidste aldersbestemmelse er det antaget, at shergottitterne kommer fra samme krystalliserende smelte. Bortset fra ALH84001 er SNC-meteoritterne altså alle meget yngre end andre meteoritter, som har aldre på $4,5\text{--}4,6 \cdot 10^9$ år. De er vulkanske

klippestykker, der bortset fra én størknede for mindre end $1,3 \cdot 10^9$ år siden. Dette betyder, at de må stamme fra et moderlegeme, der var vulkansk aktiv længe efter, at planeter, asteroider, kometer o.a. dannedes i det tidlige solsystem for ca. $4,6 \cdot 10^9$ år siden. Kun Jorden, Venus og Mars er store nok til at give en så sen vulkanisme. Ganske vist er Jupiters måne Io stadig vulkansk aktiv, men bl.a. kan den afvises på grund af sin nærhed til Jupiter, der vil forhindre eventuelle udslyngede stumper at komme i bane mod Jorden.

For at meteoritter skal kunne komme fri af Mars, skal de opnå hastigheder større end undvigelseshastigheden på 5,4 km/s. Produkter fra vulkanske udbrud vil ikke have så høj hastighed, men der er opstillet modeller, der viser, at ved nedslag af meteoritter med passende størrelse og retning vil der, foruden en mængde fordampet materiale, også blive udslynget klippestykker, nogle med den krævede høje hastighed og nogle af disse endda uden væsentlig chokpåvirkning - det sidste er væsentligt, da nakhliterne næsten ikke viser tegn på chok. Meteoritter fra Venus vil have meget svært ved at overvinde det meget større tyngdefelt, og desuden har Venus en meget tæt atmosfære, der virker bremsende. Derfor er Mars det mest sandsynlige moderlegeme for SNC-meteoritterne.

Gasinklusioner

I et par af SNC-meteoritterne (EETA 79001 og Zagami) har man fundet små bobler af gas i chok-smeltet glas. Ved trinvis opvarmning indtil smeltning af glasserne følges frigørelsen af gasser, og disse analyseres for deres isotopsammensætning. Denne metode er velegnet til stort set at frasortere eventuelle gasser, der er blevet adsorberet på glassernes overflade, mens meteoritterne har opholdt sig i den jordiske atmosfære. Sådanne gasser frigøres ved lavere temperaturer, hvorimod gasser, der frigøres ved højere temperaturer, fortrinsvis vil stamme fra det indre af glasserne. Man har målt isotopforholdene for kvælstof og ædelgasserne og bl.a. fundet, at kvælstof er beriget i i forhold til den jordiske atmosfære.

	Viking 1	Viking 2	Shergotty
SiO ₂	44	43	49,5
Al ₂ O ₃	7,3	(7)*	7,6
Fe ₂ O ₃	17,5	17,3	-
FeO	-	-	19,8
MgO	6	(6)*	9,0
CaO	5,7	5,7	9,6
K ₂ O	<0,5	<0,5	0,2
Ti ₂	0,62	0,54	0,9
SO ₃ /S	6,7	7,9	0,2
Cl	0,8	0,4	-
Andre ⁺	2	2	2,9
Sum	91 [#]	90 [#]	99,7

* Mg og Al antages at være som ved Viking 1.

+ Inkluderer grundstoffer som P, Mn og Na.

Lette stoffer, som H₂O, CO₂ og NO_x, kunne ikke detekteres og udgør formodentlig de manglende 9-10 %.

Tabel 1. Grundstofsammensætning (i vægt % angivet som oxider) på Mars's overflade og i en SNC-meteorit.

Viking missionerne til Mars i 1976 har vist, at kvælstof (N₂) i atmosfæren på Mars også er beriget i den tunge kvælstof-isotop ¹⁵N, idet andelen af det tunge molekyle ¹⁵N¹⁴N/¹⁴N¹⁴N er 1,62±10% gange større end det samme forhold for atmosfæren på Jorden. En stor berigelse i ¹⁵N er kendetegnende for Mars, men findes dog også i et par enkelte meteoritter, som ikke tilhører SNC-gruppen. Inddrages andre gasser bliver tilknytningen til Mars stærk. På figur 3 er sammenhængen mellem (⁴⁰Ar/¹⁴N) og ^δ¹⁵N afbildet for de to undersøgte SNC-meteoritter, hvor

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{(\frac{^{15}\text{N}^{14}\text{N}}{^{14}\text{N}^{14}\text{N}}) - (\frac{^{15}\text{N}^{14}\text{N}}{^{14}\text{N}^{14}\text{N}})_{\text{jord}}}{(\frac{^{15}\text{N}^{14}\text{N}}{^{14}\text{N}^{14}\text{N}})_{\text{jord}}}$$

Det ses, at SNC-meteoritterne placerer sig mellem værdierne for Mars og Jorden. Foruden gasserne i glasserne har man også undersøgt de gasser, der frigøres

fra ikke-chokpåvirket materiale i de undersøgte meteoritter. Disse gasser viser sig at svare til gasserne i Jordens atmosfære.

Det chok-smeltede glas kan være dannet ved det meteoritnedslag på Mars, der sendte de undersøgte meteoritter ud fra Mars. Glasset størknede om gasbobler med indhold af Mars's atmosfære, og gasser, der oprindeligt var i klipperne, blev opløst i glasset. Ved de udførte undersøgelser vil man derfor måle en blanding af oprindelige gasser og gasser svarende til atmosfæren på Mars, og sådanne blandinger vil ligge på den viste blandingslinje.

Da gasserne blev indesluttet for måske 180 mill. år siden, er der i det foregående gjort den antagelse, at Mars's atmosfære ikke har ændret sig meget i tiden fra dengang til nu, eller at den har forandret sig, så den har bevæget sig på blandingslinjen. Kvalitativt vil dette være den forventede tendens, idet tab af kvælstof vil forøge både (⁴⁰Ar/¹⁴N) og ^δ¹⁵N.

En stor værdi af ^δ¹⁵N ville ikke entydigt knytte disse meteoritter til Mars, men af alle de systemer, hvor (⁴⁰Ar/¹⁴N) og ^δ¹⁵N er kendt, er det kun atmosfæren på Mars, der falder på blandingslinjen over meteoritpunkterne. Da det yderligere for ædelgasserne i glasserne gælder, at de både i grundstofindhold og isotopsammensætning svarer nøje til de samme forhold for Mars's atmosfære, er det derfor mest sandsynligt, at disse meteoritter, og dermed SNC-meteoritterne, stammer fra Mars.

Andre resultater

Viking sonderne medbragte røntgenfluorescensmåleudstyr til at finde grundstofsammensætningen i det røde Marsstøv. I tabel 1 er resultaterne fra de to landingssteder (stort set samme værdier selv om sonderne blev sat ned mere end 6000 km fra hinanden) sammenlignet med grundstofsammensætningen af Shergotty, som er en af de SNC-meteoritter, der stammer fra en overfladenær vulkanisme. Bortset fra indholdet af S og flygtige grundstoffer er der stor overensstemmelse. I SNC-meteoritterne finder man spormængder af mineraler, der er dannet under indflydelse af flydende vand på moderlegemet, fx rustagtige mineraler, ler, karbonater og sulfater. Sådanne tegn på vand findes normalt ikke i meteoritter, bortset fra kulchondritterne som måske stammer fra kometer. Billederne taget under Viking missionerne viser bl.a. at tidligere har vandet skåret dybe floddale i overfladen af Mars. Store mængder vand er formodentlig stadig bundet i permafrostlag og flydende vand vil kunne frigøres ved vulkansk aktivitet.

Sammenfatning

Ilt-isotopforholdene siger, at ALH84001 og de andre SNC-meteoritterne kommer fra deres eget moderlegeme. Dette moderlegeme har været vulkansk aktivt i meget lang tid og må derfor være stort. Desuden er der fundet gasinklusioner i SNC-meteoritter, der har en iblanding svarende til atmosfæren på Mars. SNC-meteoritterne er sluttelig

de eneste achondritter, der har været i kontakt med flydende vand. Disse kendsgerninger er begrundelsen for at antage, at SNC-meteoritterne stammer fra Mars, og der er mere og mere enighed i meteoritkredse om, at navnet SNC-meteoritter skal ændres til 'Meteoritter fra Mars'.

Referencer:

- 1) R.N. Clayton, *Oxygen Isotopes in Meteorites*, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 21, 115-149 (1993).
- 2) Marti et al., *Signatures of the Martian Atmosphere in Glass of the Zagami Meteorite*, Science 267, 1981-1984 (1995).



Lise Vistisen er lektor i fysik, ansat ved Niels Bohr Institutet siden 1959. Hun studerer meteoritter o.a. med Mössbauerspektroskopi.

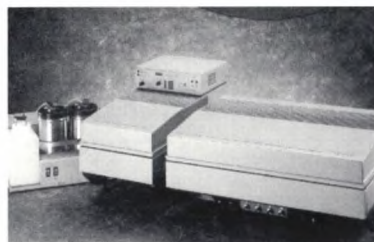


optilas

Optilas Danmark, den lokale internationale leverandør med specialer indenfor:

Optik og lasere til forskning og industri

Continuum, Inc. - Corion Corp. - CVI Laser Corp. - Ion Laser Technology, Inc. - Labsphere, Inc. - Laservision - Optical Surfaces Ltd. - Physical Optics Corp. - Research Electro Optics - Santa Fe Laser Co. - Synrad, Inc. - m.fl.



Spektroskopisk udstyr

Chromex, Inc. - McPherson Milton Roy - Photek Ltd. m.fl.



Elektronik

Directed Energy, Inc. - Maxwell Laboratories, Inc. - Quantum Design, Inc. - Stanford Research Systems, Inc. - Trek, Inc. - m. fl.

Optilas Danmark

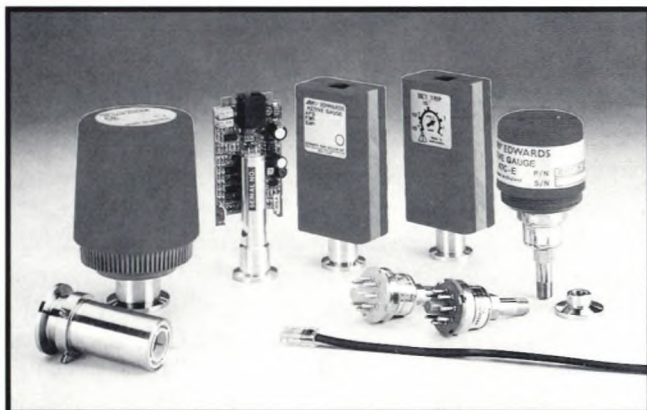
Billedvej 2

DK-2100 København Ø

Telefon: 3543 0133

Fax: 3543 8334

E-mail: optilas@inet.uni-c.dk



Active gauges er et nyt koncept til vakuummåling. Målehovedet indeholder hele elektronikken til måleudstyret og kræver derfor kun en standard DC strømforsyning. Udgangssignalet er 0 - 10V DC. Udlæsningen kan foregå på et almindeligt måleinstrument, PLC eller på en computer. Derved er der bedre mulighed for dokumentation ved f.eks. produktionskontrol. Fordelen ved denne konstruktion er bl.a., at man ikke behøver at have målehoved og måleudstyr i nærheden af hinanden. Kabler kan leveres i længder på op til 100 meter.

Pris pr. målehoved fra kr. **2.540,-** ex. moms

EDWARDS

Rotationsvakuumpumpe type RV er en ny oliepumpe, som både er en et- og to-trins pumpe, da der er mulighed for med en drejeknap at øge luftgennemstrømningen. Denne mulighed er der ingen andre vakuum-pumper på markedet der har. Pumpen leveres i 4 størrelser 3,7 - 5,8 - 9,7 - 14,2 m³/h.

Edwards RV pumper er velegnet som kemipumpe til f.eks. geltørring, centrifugering og frysetørring. Er også velegnet til rene systemer, hvor der kræves lavt sluttryk. I laboratoriet vil man også påskønne det meget lave støjniveau på kun 48 dBA.

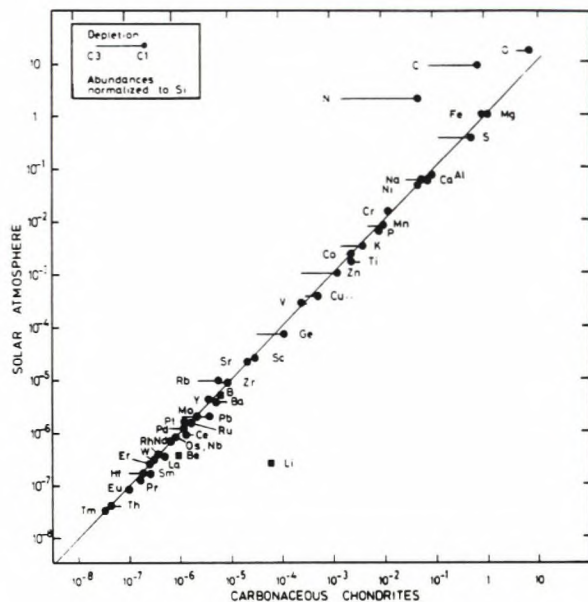


Buch & Holm A/S

Marielundvej 36 - 2730 Herlev ☎ 42 91 75 11 Fax 44 92 31 00

Meteoritter og stjerneudvikling

Anja C. Andersen og Uffe Gråe Jørgensen

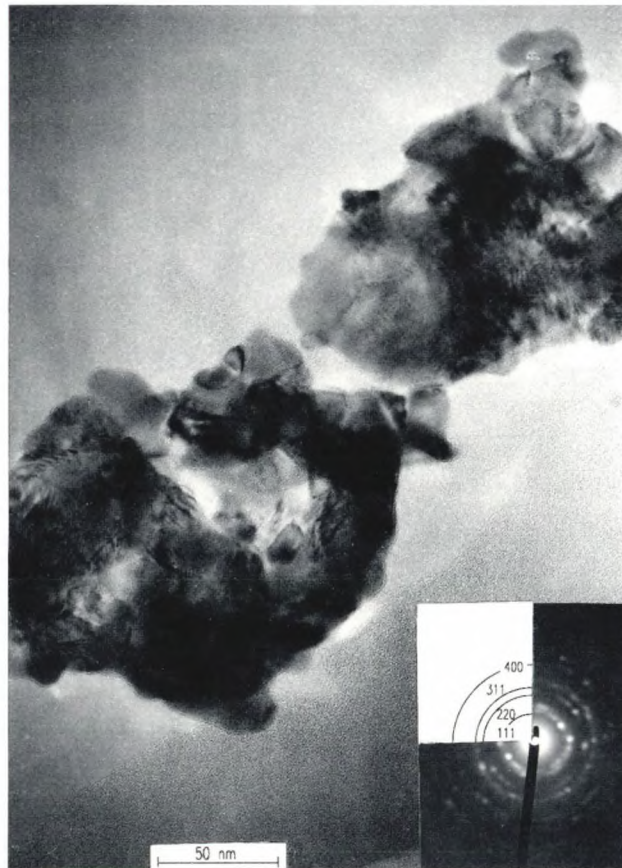


Figur 1. Oversigt over grundstoffernes hyppighed i solens atmosfære jævnført med kulchondritterne, akserne viser antallet af atomer pr. 1 million siliciumatomer. Man ser fx, at der for hver million siliciumatomer er 100 germaniumatomer, både i solatmfæren og i kulchondritterne (også kaldet C1-chondritter). Den manglende litium i solen i forhold til chondritterne skyldes at litium er blevet destrueret som en følge af de høje temperaturer i solen, mens grundstoffet kvælstof findes i mindre mængde i meteoritterne som følge af, at det er på gasform, og derfor ikke så villigt lader sig fange i sten. (Fra Cowley 1995).

Indledning

Hvilket barn har ikke drømt om at putte et rigtigt stykke af nattens funkende stjerner ned i lommen og gå rundt og knuge hånden omkring det for rigtig at føle hvad en stjerne er? — Og hvor mange af os har ikke oplevet det som en slags antiklimaks omsider at forstå hvad et lysår er og hvor umuligt det er at nå så langt bort i rummet.

Men idag er det faktisk lykkedes at finde stjernestøv på Jorden. En sjælden type af meteoritter indeholder mindst 0,1% stof som er dannet før solsystemet, kaldes derfor præsolart stof. De mindste af disse korn er kun få Ångström store, og nærmest at betragte som store molekyleklynger. De største korn er af mikrometerstørrelse. Dem skærer man idag rutinemæssigt i skiver for at undersøge deres struktur, hvilken isotopsammensætning de har, og hvilken isotopsammensætning forureninger inde i krystalstrukturen har. Ved hjælp af sådanne analyser har man fået adgang til vigtig ny viden om nanostruktur faststoffysik, kernefysik, molekyl- og klyngefysik, og så naturligvis astrofysik, specielt vdr. solsystemets dannelse og stjernernes struktur og udvikling.

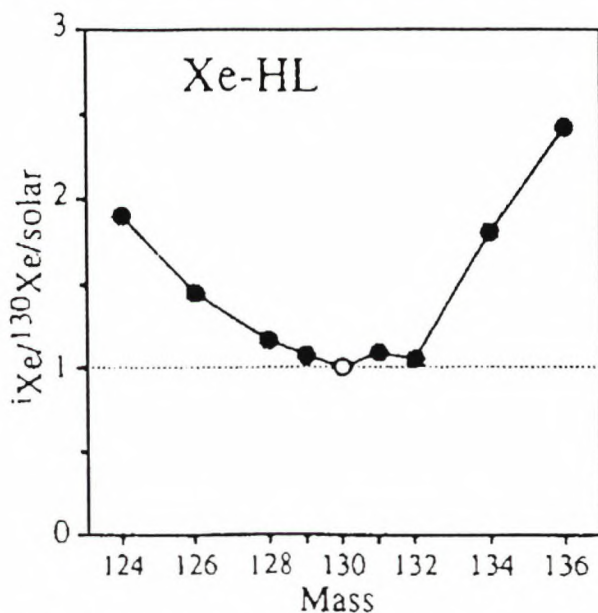


Figur 2. Et transmission elektron mikroskopbillede af nanodiamanter fra Allende meteoritten, hver klump på billedet indeholder ca. 1000 diamanter og hver diamanter består af ca. 1000 kulstof atomer.

Vores egen forskning på dette område har koncentreret sig om at forstå hvilke typer af stjerner kornene kommer fra. I samarbejde med Marie-Louise Andersen på NBI har vi udvundet præsolare korn fra en bestemt meteorit, i samarbejde med Kristian Glejbøl og Jakob Bohr på DTU har vi analyseret kornene i DTUs elektronmikroskop og i samarbejde med Flemming Nicolaisen og Preben Graae Sørensen på Kemisk Institut, HCØ har vi målt absorptionskoefficienten af de præsolare korn. På Astronomisk Observatorium, KU, arbejder vi med at indkorporere de målte data i vores modeller for stjerneatmosfærer og med at simulere hvordan spektret fra forskellige stjernetyper vil se ud hvis det er dér støvkornene er dannet. I et internationalt samarbejdsprojekt forventer vi at få satellitobservationer som ved sammenligning med vores simuleringer endelig vil kunne stedfæste hvorfra kornene kommer — og dermed give indblik i hvor det stof som solsystemet blev dannet af kom fra.

Kulstofchondritter – klumper af det oprindelige sol-systemsstof

Da solsystemet blev dannet foregik det ved at en stor interstellar gas- og støvsky trak sig sammen. Sammentrækningsfasen varede lidt mindre end 100 millioner år, og i den periode fladede protosolskyen sig ud i en diskform. I skivens plan samlede de faste stoffer sig – støvpartikler og iskrystaller. De faste partikler klumpede sig relativt hurtigt sammen. Klumper af typisk nogle få hundrede km størrelse kalder vi protoplaneter. En kraftig varmeudvikling, formodentlig fra henfald af radioaktivt aluminium 26, fik protoplaneterne til at smelte. I smelten sank de tunge stoffer som jern og nikkel ind mod centeret af planeten, og lettere stoffer som silikater lagde sig som slagge på overfladen. Senere sammenstød blandt disse lagdelte protoplaneter slog dem helt eller delvist i stykker. Det er disse stykker vi finder som de mest almindelige meteoritter – jernmeteoritter, stenmeteoritter og sten-jernmeteoritter.



Figur 3. Hyppigheden af xenon gassen som den er blevet målt i nanodiamanterne fra Allendemeteoritten. Den relative hyppighed er blevet normaliseret til hyppigheden i solens atmosfære, og sat til 1 for ^{130}Xe . $^{124}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ og $^{136}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ forholdet i diamanterne ser ud til at være markant højere end i solen. Det er denne forskellighed der indikerer, at diamanterne ikke er dannet i solsystemet men må være "stjernestøv" der har overlevet solsystemets dannelse.

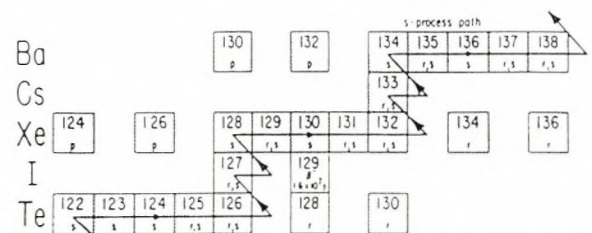
Nogle klumper af det oprindelige solsystemsmateriale voksede sig imidlertid aldrig så store at de blev til egentlige protoplaneter. Deres overflade var stor nok i forhold til deres volumen til at de kunne komme af med varmen uden at smelte. Herinden finder vi derfor de oprindelige støvkorn fra skyen der samlede sig til solsystemet.

Kulstofchondritter består af små glasagtige kugler indlejret i en matrix af finkornet støv

Den type af meteoritter som ikke har været del af en pro-

toplanet kaldes *kulstofchondritter*. Kulstof fordi de har et større indhold af kulstof end de fleste andre meteoritter, og *chondritter* fordi de indeholder *chondruler*. Chondruler (se figur 6 side 19) er små glasagtige kugler der er dannet i skyen under intense energiudladninger. Fx lynudladninger i solsystemsskyen (men mange andre mekanismer er mulige, og deres oprindelse er stadig et emne for heftig debat). Folk der sælger meteoritter og skal forsøge at interessere mulige købere, kalder chondrulerne for mikropianeter. Vel en fascinerende tanke med milliarder af planeter i solsystemet, hvoraf man kan købe en håndfuld at have i lommen. Men ud over at være runde og at have været smeltet har de intet med planeter at gøre.

I kulstofchondritterne er chondrulerne indlejret i en matrix af hårdt sammenpresset støv. Det er dette støv der menes at være oprindeligt materiale fra solsystemets dannelse. Jo mere støvmatrix der er i forhold til chondrulerne, desto mere af det oprindelige solsystemsmateriale er der altså i meteoritten, og desto mere *primitiv* siges meteoritten at være. Det er i den forstand vi taler om primitive meteoritter. Indtil 1969 var den samlede mængde af primitivt meteoritstof i verdens museer nogle få kg. Selvsagt var det vanskeligt at komme til at lave videnskabelige undersøgelser af disse sten. Den vigtigste opdagelse fra den tid er et eksperiment der viste at hvis man opvarmer matrixmaterialet vil det ved en bestemt temperatur frigive ædelgasser med en isotopsammensætning markant forskellig fra det øvrige solsystems. Det var på det tidspunkt man begyndte at få mistanke om at noget af stoffet i primitive meteoritter er præsolart – altså fra før solsystemet blev til.



Figur 4. Et udsnit af kernekortet der viser s-proces elementers dannelsesvej i området omkring Xe.

I 1969 faldt der som manna fra himlen to kæmpemæssige stykker kulstofchondrit. Det ene var nær byen Allende i Mexico (og meteoritten kaldes derfor Allende, se figur 7 side 19), det andet nær Murchison i Australien. Murchison der er den mest primitive af de to, er på 82 kg, og Allende blev anslået til at have været omkring 4 tons, men "kun" to tons er indsamlet (den eksploderede i luften og spredtes over et stort område; mindre nye stykker findes derfor stadig nu og da).

Den 21. juli 1969 satte det første menneske sin fod på Månen. En række laboratorier verden over var af den grund blevet top moderniseret til at modtage og analysere de første månensten. Det var et lille mirakel at Allende og Murchison faldt netop på det tidspunkt. De støvfrie laboratorier og alt det udstyr der var beregnet til at sikre at



Dedicated XPS Quality-Analysis System
New ESCA-Q System



- ◇ **200mm stainless steel analysis chamber**
- ◇ **3 sample magnetic transfer mechanism**
- ◇ **Isolated fast entry airlock**
- ◇ **Bakeout facility (120 C°)**
- ◇ **Integrated electronics within system bench**
- ◇ **Analyser, X-ray and ion gun on sealed ports**
- ◇ **250l/s turbo pump with rotary backing**
- ◇ **Base Pressure (5×10^{-9} mB)**

A complete XPS analysis system designed for surface quality control applications, analysing contamination and elemental constituents on surfaces of metals, semiconductors, catalysts and polymers. This integrated system also provides an ideal student training facility.

For further information, please contact Kennet Joelsson, Fisons Instruments Nordic AB, tel. +46-(0)8-6292400, fax +46-(0)8-627 52 20.
E-mail: kennet.joelsson@fisons-instruments.se

månestenene ikke blev forurenede med jordisk materiale, var som skabt for analysen af primitive meteoritter. Det er af den anledning man med fuldstændig sikkerhed ved at de 74 forskellige aminosyrer, og de nukleotid baser, man identificerede i Murchison meteoritten ikke er en jordisk forurening. Fra vores synspunkt kan man lidt ironisk sige at analysen af Murchison nok blev Apollo projektets største videnskabelige landvinding.

Det ældste stof

Hvis man piller chondrulerne ud af en kulstofchondrit, og varmer på resten, vil man se at isotopsammensætningen af den ædelgas der frigives, ændrer sig med temperaturen. Grunden til at det lige er ædelgasser man studerer skyldes at de er både flygtige og ureaktive, hvilket gør dem nemmere at separere, studere og at karakterisere end andre grundstoffer. Der er tale om meget små stofmængder og nogle af de konklusioner man drager stammer fra statistik foretaget på få tusinde atomer. Under sådanne forhold - og med dagens teknik - vil materiale der kan reagere kemisk, øjeblikkelig forsvinde i måleapparatet.

Ved de fleste temperaturer er isotopsammensætningen den samme som den normale sammensætning i solsystemet se figur 1. Når temperaturen bliver høj nok ser man pludselig et spring i isotopsammensætningen til ikke-solar

sammensætning. Man konkluderer derfor at matrixen indeholder nogle faste partikler som har en sådanne struktur af de vil frigive eventuelle ædelgasinklusioner ved den pågældende temperatur, og at disse faste stoffer på grund af isotopsammensætningen af det frigivne ædelgas, ikke kan være dannet i solsystemet. Da de er blandet op i en meteorit som aldrig har været omstruktureret siden solsystemets dannelse, må de ikkesolare partikler være dannet før solsystemet, og være blandet op med solsystemsskyen under dannelsesfasen eller (mere sandsynligt) i den interstellare sky der senere skulle falde sammen og blive til solsystemsskyen. Man kalder derfor materialet præsolart. Det er dannet udenfor solsystemet, før solsystemet eksisterede.

Ved at opløse matrixmaterialet i syrer og baser, udtage bundfaldet eller overvæsken, størrelsesseparere støvkornene og gennemføre andre, lignende, kemiske og fysiske udvælgelsesprocesser på materialet, har man isoleret stadig mere rene prøver af det præsolare materiale. Altså bedre og bedre fået fraseret den præsolare komponent af matrixen fra den solare komponent, således at ædelgasindholdet i den separerede komponent var stadig mere markant ikkesolart i sin isotopsammensætning. Igennem 1970'erne og 1980'erne fik man derved til stadighed indkredset det præsolare materiale mere og mere, uden

dog nogen sinde at være istand til præcist at sige hvad de faste præsolare støvkorn var for et materiale.

Efter omtrent 20 års søgen, lykkedes det i 1987 endelig for en forskergruppe i Chicago at isolere den støvtype som indeholdt de karakteristiske ædelgasser. Det viste sig at være bitte små diamanter (≈ 2 nm store).

Gruppen i Chicago udtalte sig efter opdagelsen, til et populærvidenskabeligt tidsskrift, at det havde været som at lede efter en nål i en høstak: I 20 år havde de møjsommeligt "sorteret stråene", uden at vide at alt hvad de havde behovet var "at brænde høstakken af og samle nålen op i asken". Diamanter kan tåle så hård en kemisk behandling at alt man behøver er at give meteoritten den hårdest mulige behandling man kan tænke på. Det sidste der vil være tilbage er diamanterne. Efter et par fejlslagne forsøg, har vi nu selv stået med et reagensglas der ser tomt ud, men rummer en så tilpas stor mængde af diamanter at vi kan måle den absorptionskoefficient vi behøver til vores stjerneatmosfæremodeller. Vi har også overbevist os om at reagensglasset ikke var tomt, ved at kigge på dets indhold i DTUs elektronmikroskop. Vi har set både diamanterne og det karakteristiske mønster de spreder elektroner ud i, se figur 2. Dog vil vi ikke skrive under på at det er helt så nemt som at sætte ild til en høstak.

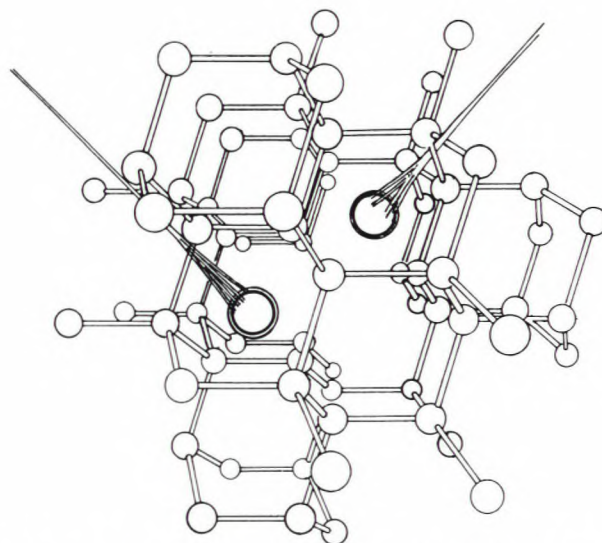
Hvor kommer diamanterne fra ?

Den første isotopmåling der blev udført på de ekstraherede diamanter var deres egen isotop sammensætning, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ forholdet, og derudover målte man også på urenhederne. Resultaterne gav det hidtil største problem for forståelsen af hvilke stjerner der leverede det materiale solsystemet (planeterne) er lavet af. Den xenon ædelgas der udgasser fra diamanterne når man varmer dem op, rummer mange neutronrige r-proces isotoper og mange neutronfattige p-proces isotoper (se boks og figur 3). Diamanterne selv har derimod et $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ forhold på ca. 90 ligesom solen og solsystemet. Hvorfor er det nu mærkeligt?

Det solare $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ forhold kan let forstås hvis det antages at universets kulstof kommer fra kulstofrige røde kæmpestjerner (dvs. kulstofstjerner), og at diamanterne også er dannet i kulstofstjerner. De kulstofstjerner som vides at blæse store mængder af stof ud i det interstellare rum, har netop $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \approx 90$. Det giver derfor et konsistent billede at forestille sig at de mest almindelige præsolare partikler i solsystemsskyen stammer fra kulstofstjerner, og at solsystemets (og universets) kulstof i almindelighed også kommer fra denne kilde. Til gengæld dannes der ikke r- eller p-proces xenon i kulstofstjerner, men s-proces xenon. Det er derfor en gåde hvorfor der tilsyneladende sidder r- og p-proces xenon inde i diamanterne.

r-proces xenon dannes i supernovaer af type II (store stjerner der eksploderer når deres indre jernkerne overskrider ca. 1,3 solmasser). Støv dannes derimod normalt i de ydre lag af kolde stjerner (fx røde kæmpestjerner) hvor der er temperaturer under ca. 1500 K, og tætheder store

nok til at molekyler kan støde sammen og forme klynger og små støvkorn. Imidlertid kan rene kulstofpartikler som diamanter ikke dannes i atmosfæren af de stjerner der bliver til en supernovaer fordi sådanne stjerner er iltrige. Diamanterne kan altså ikke have været til stede i stjernen før den eksploderede som en supernova. Det er et åbent spørgsmål om støvkorn kan dannes i selve supernovaen fordi den er så varm som den er, og lever så kort. Imidlertid kan man forestille sig at støvkornene dannes mange år efter eksplosionen når de indre kulstofrige lag er hvirvlet tilpas langt ud i det interstellare rum og er kølet tilpas meget af. I standard modeller for supernovaer er kulstoffet i disse lag imidlertid rent ^{12}C , og de indeholder store mængder ^{129}I der vil sætte sig i diamantrystallerne i langt større mængder end xenon, og når ^{129}I efter nogle millioner år er henfaldet til ^{129}Xe ville diamanternes xenon gas derfor have et enormt overskud af ^{129}Xe i forhold til de andre isotoper, hvilket de ikke har, se figur 3 og 4.

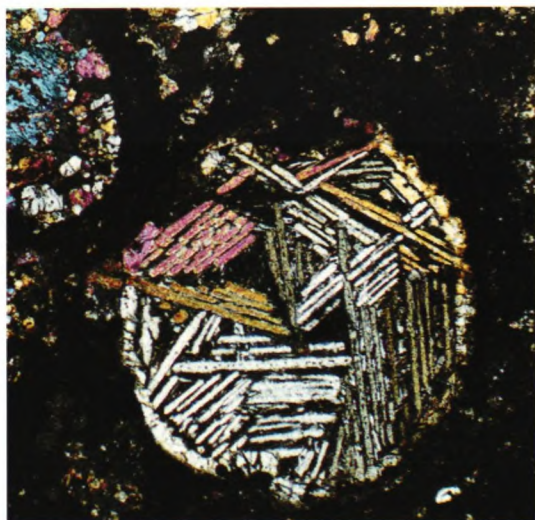


Figur 5. Under supernovaeksplosionen vil xenonatomer blive skudt in i diamanstrukturen og sidde fanget der, indtil diaman-ten bliver varmet op til 800 °C eller mere.

Desværre kan man endnu ikke måle på diamanterne enkeltvis. Dertil er de for små. Man må nøjes med middelværdier over typisk 10^9 - 10^{11} diamanter fra et ekstrakt. En typisk præsolar diamanter indeholder kun omkring 1000 kulstofatomer – det betyder også at omkring halvdelen sidder på overfladen og derfor betegnes de præsolare diamanter ofte med den lidt selvmodsigende beskrivelse *amorfe diamanter*. Indeholdet af xenon forurening er så relativt lille at man kun finder ca 1 xenonatom pr 10^7 diamanter. Specielt er p-proces isotoperne ganske sjældne i forhold til de andre isotoper. Man finder typisk en p-proces xenon atom pr 10^9 diamanter. Man behøver selvsagt et stort antal diamanter for at tale om et overskud af bestemte isotoper i forhold til solsystemets sammensætning, og man kan let forestille sig, at det vi måler er et sammensurium af partikler dannet i mange forskellige stjernetyper.

Vi er af den anskuelse at den overvejende del af dia-

manterne er dannet i kulstofrige røde kæmpestjerner, med det samme $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ forhold som solsystemet. r-proces xenonen kan så forklares som hidrørende fra en lille procentdel af diamanterne. Disse kan være rene ^{12}C krystaller som forudsagt af standard supernovateorierne, og have en meget høj koncentration af xenon, specielt r-proces xenon. Overskudet af p-proces xenon kan forklares som at nogle kulstofstjerner har været medlemmer af dobbeltsjernesystemer, og doneret den masse der fik den anden komponent – en hvide dværg i systemet – til at eksplodere som en supernova af type I, se figur 5.

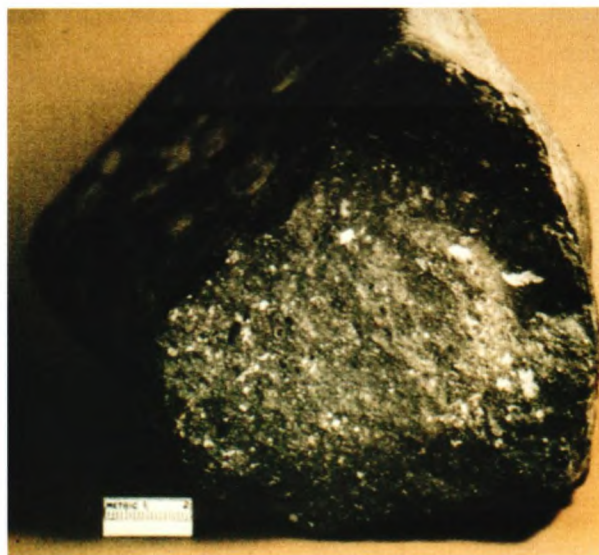


Figur 6. Chondrer i kulchondritten Allende, sidelængde 1mm (Fra Buchwald 1992). Diamanterne skjuler sig i den sorte matrix der fylder mellemrummet mellem chondrene.

For at teste disse teorier har vi målt absorptionskoefficienten af diamanterne og inkluderet dem i meget simplificerede modeller for de områder i kulstofstjerner hvor vi tror at de dannes. Vi arbejder på at udbygge vores stjerneatmosfæremodeller således at de kan inkludere egentlig støvdannelse og vind. Sådanne modeller er meget komplicerede, fordi det er svært at håndtere både de millioner af molekyllære absorptionslinier og den hydrodynamiske bevægelse samtidig. Det vi prøver at finde er nogle klare skel mellem modeller af kulstof stjerner med støv i form af diamanter i atmosfæren og kulstof stjerner uden diamanter i atmosfæren, se figur 8.

Hvis det viser sig at vi kan se diamanter i kulstofstjerneatmosfærer, vil det formentlig betyde at solsystemets (og dermed Mælkevejens og universets) kulstof kommer fra kulstofrige røde kæmpestjerner. Eftersom kulstofstjernerne struktur er velkendt fra computermodeller og observationer, vil det samtidig betyde at vi for første gang har en beskrivelse af de forhold i naturen hvorunder nanodiamanter kan kondensere ud af gasfasen under lavt tryk. I laboratoriet har man ved lavt tryk kun kunnet få diamanter til at udfælde af gasfasen som film på et substrat (fx en platinplade). Man har ikke i laboratoriet fået diamanter til at falde ud som små frie korn. Der findes heller ingen teoretisk beskrivelse af forløbet fra gasfase til molekyllklynger og videre til mikroskopiske korn.

Hvis det på den anden side viser sig at diamantspektret kan identificeres i spektret af gamle supernovarester, og ikke i røde kæmpestjerner, må man konkludere at universets kulstof er skabt i supernovae-eksplosioner. I så fald fortæller diamanterne, deres isotopsammensætning og deres ædelgasinklusioner, at vores modeller for supernovaer må revideres på flere punkter. Bl.a. så de ikke, som dagens standard supernovamodeller, producerer ^{129}I (og en række andre stoffer som produceres sammen med det); at de ikke har rene ^{12}C skaller som hidtil antaget; og at de køler så tilpas meget mens stoffet stadig er tæt nok til at i alt fald noget af supernovagassen kan danne faste partikler.



Figur 7. Et stort stykke af Allendemeteoritten med en 2cm skala. Den ene ende af meteoritten er brækket af, så at man kan se det uforandrede meteoritmateriale. Resten af meteoritten er dækket af en brændt skal, der skyldes opvarmning under turen ned gennem Jordens atmosfære samt lidt mexicansk ler fra nedslaget.

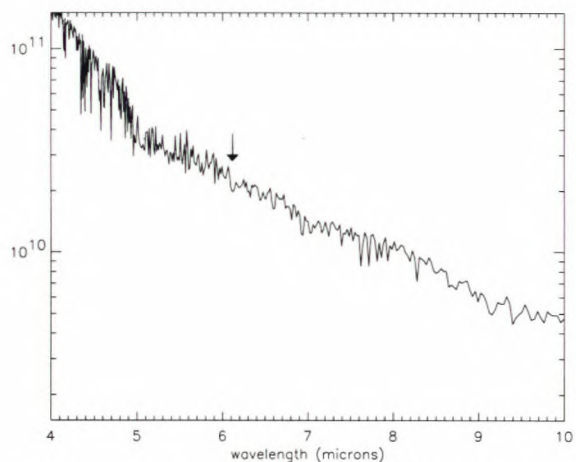
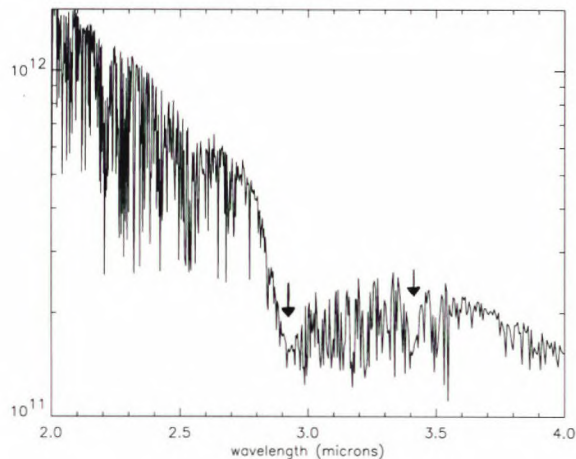
De andre præsolare støvkorn

Diamanterne udgør ca. 99% af det præsolare materiale man finder i meteoritterne. Den resterende del udgøres primært af kaborundum korn (SiC) og små mængder grafit, korund (Al_2O_3), spinel (MgAl_2O_4) og siliciumnitrid (Si_3N_4). Desuden har det vist sig at når man skærer SiC og grafit kornene i stykker kan der findes mindre TiC korn og andre karbider inde i dem.

SiC kornene er ganske velforståede bl.a. fordi man kan foretage målinger på enkelte korn. SiC kornene har nemlig en størrelse på mellem $0,05\text{--}20\ \mu\text{m}$ og målinger på enkelte korn kan udføres for korn $> 1\ \mu\text{m}$. Dette har ført til at man har kunne identificere flere forskellige stjerne typer som oprindelse sted for SiC -korn. Største delen af SiC -kornene har en isotop sammensætning der passer med den man finder for senfase kulstofrige røde kæmpe stjerner. En mindre del af SiC -kornene stammer formentlig fra noget yngre kulstof stjerner og en anden mindre gruppe af SiC -korn stammer formentlig fra supernovaer af type II.

Grafit kornene har en størrelse på mellem $0,8\text{--}8\text{ }\mu\text{m}$ og man har endnu for få målinger pga. deres sjældenhed, til at kunne identificere deres oprindelse med særlig vægt. Meget tyder dog på at de stammer fra en supernova af type II.

For de resterende korn (corundum, spinel og siliciumnitrid) har man endnu kun et meget tåget billede af deres oprindelse, da mængden af materiale er så lille.



Figur 8. Forventet spektrum af spektret af en kulstofstjerne hvis den indeholder diamanter i atmosfæren. De viste spektre dækker en del af det infrarøde område, nemlig fra $2\text{--}4\text{ }\mu\text{m}$ i den øverste ramme, og fra $4\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ i den nederste ramme. De tre karakteristiske træk, der stammer fra diamant, er vist med pile. Udover diamant inkluderer spektrene også de seks mest dominerende kulstof molekyler, nemlig CO , C_2 , CN , C_2H_2 , C_3 og HCN .

Hvor kommer grundstofferne fra ?

Stjernerne får deres energi til at lyse fra atomkernesammensmeltning, fusion. Når 4 brintkerner smelter sammen til en heliumatomkerne, bliver 0,7% af massen omdannet til energi efter formelen $E = mc^2$. Da universet blev skabt for mellem 10 og 20 milliarder år siden var der kun brint og helium. Alle de andre grundstoffer vi omgiver os med er skabt i stjernernes indre. Der kan udvindes energi ved at fusionere atomkerner op til og med jern. En stjerne hvor fusionen er forløbet til ende vil derfor i

princippet være en kompakt varm klump af jernplasma. I praksis kræver de successive kernesammensmeltninger i stjernerne til tungere og tungere grundstoffer imidlertid højere og højere temperatur og tæthed. De fleste stjerner opnår aldrig så høj temperatur som kræves til dannelse af grundstoffer tungere end ilt, og de dør som en kompakt klump af ilt og kulstof, en såkaldt hvid dværg. Stjerner der er tungere end 5 til 8 gange solens masse, opnår at forbrænde atomerne i de centrale områder hele vejen igennem til jern. Under tyngden af det overliggende stof imploderer stjernens kerne af jerdamp til sidst, og danner en supernova.

Stoffer tungere end jern kræver energi for at blive skabt. Eftersom det elektriske potentiale mellem protoner er enormt, ville det kræve enorme energier at lave grundstoffer tungere end jern ved at sammensmelte atomer direkte med protoner. Den eneste realistiske proces er indfangning af neutroner i kernen. Man kender kun to steder i naturen hvor der eksisterer frie neutroner der vil kunne indfanges i atomerne og derved danne grundstoffer tungere end jern. Det ene er i eksplosionsøjeblikket i en supernova, det andet er i den heliumforbrændende skal i en rød kæmpestjerne.

Supernovaeksplosionen er meget kort og voldsom. Det der kan ses på himlen som en supernova, er en skal af varm gas fra stjernens ydre lag, som blæses ud i rummet og i nogle uger lyser kraftigt op mens gassen endnu er en relativt kompakt og varm sky. Selve den energiskabende eksplosion varer imidlertid kun omkring ét sekund. I den periode skabes der en enorm fluks af neutroner fra kernereaktionerne. Disse neutroner vil danne isotoper af tunge grundstoffer der er meget neutronrige og radioaktive. Typisk vil ingen af de skabte isotoper nå at henfalde til stabile isotoper, inden eksplosionen (neutronfluksen) er forbi. Man kalder isotoper af atomerne der er dannet på denne måde for r-proces isotoper ("r" fra det engelske ord rapid = hurtigt, som hentyder til at neutronindfangningen er hurtigere end henfaldet).

Helium omdannelsen til kulstof i de røde kæmpestjerner skalforbrænding er også eksplosiv, men meget langsommere og mindre voldsom end i supernovaeksplosionen, og den gentages flere gange i løbet af stjernens liv. Neutronfluxen er så tilpas lille at man med god tilnærmelse kan sige at ethvert atom der omdannes til en tungere isotop ved neutronindfangning i He-skallen, når at henfalde til et stabilt atom ét atomnummer højere inden det rammes af en ny neutron. Neutronindfangningen kaldes derfor langsom, eller slow, og de isotoper der dannes kaldes derfor for s-proces isotoper. Ca 2/3 af grundstofferne (isotoperne) tungere end jern er s-proces isotoper. Mange isotoper er en blanding af en vis procentdel dannet ved s-processen og en vis procentdel dannet ved r-processen. Det gør forståelsen af grundstoffernes dannelse lettere, at der i naturen kun eksisterer de to ekstreme neutronkilder, enten den hvor produktionen af neutroner er enormt stor eller meget lille, ingen indimellem. Alle isotoper på den såkaldte β -stabilitets linie og til højre herfor kan forklares som dannet ved en af de to processer.

Imidlertid er der nogen isotoper som hverken kan dannes i s-processen eller i r-processen. Det er de isotoper som har et underskud af neutroner; liggende til venstre for β -stabilitets linien. Det er ikke velkendt hvordan disse isotoper dannes, men den mest sandsynlige forklaring er, at de dannes under eksplosionen af en supernova af type I – dvs. en hvid dværg der tilføres masse fra en anden stjerne der kredser omkring den indtil den når en kritisk masse som får den til at eksplodere under sin egen vægt.



Anja C. Andersen er ph.d. studerende ved Niels Bohr institutet og interesserer sig for solsystemets dannelse og Mælkevejens kemiske udvikling.

Referencer:

- 1) C.R.Cowley, *An Introduction to Cosmochemistry*, Cambridge University Press, 1995
- 2) V.F. Buchwald, *Meteoritter – nøglen til Jordens fortid*, Gyldendal 1992.



Uffe Gråe Jørgensen er lektor ved Astronomisk Observatorium ved Niels Bohr institutet. Han konstruerer modeller af stjerners atmosfærer med henblik på at kunne forudsige spektret af det lys de udsender. Han arbejder desuden med stjerners udvikling, universets alder og solsystemets dannelse.

Stenene på Isen

Anders Meibom, Odense Universitet.

Den 7. august sprang en bombe i de naturvidenskabelige rækker: ALH84001, en meteorit fra Mars, fundet i 1984 ved Allan Hills på Antarktis, indeholder spor efter tidlig biologisk aktivitet på den røde planet! I sandhed en fantastisk opdagelse - hvis den holder.

Nyheden blev bragt på CNN, i bedste 'information highway'-stil, til en hel verden af på en gang fascinerede og reserverede videnskabsfolk. Lad det være slået fast med det samme: der er god grund til skepsis. Der findes andre ikkebiologiske processer, som kan være ansvarlige for de polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH'er), jernoxider og jernsulfider som forskerholdet fra Johnson Space Center og Stanford University fremsatte som tegn på biologisk aktivitet på den unge Mars. For nuværende kan det endegyldige bevis ikke leveres - men marsfeberen raser. (Se Morten Bo Madsen og Anja C. Andersens artikel her i bladet.)

Under alle omstændigheder blev ALH84001 på 20 minutter verdens mest kendte og fascinerende sten. Dette er imidlertid ikke en beskrivelse af stenen fra Allan Hills, men historien om hvordan det blev muligt at finde den

plus mere end 15.000 andre meteoritter på Antarktis's gølge ismasser. Det er historien om en god ide og en stor portion stædighed. Denne kombination kom til at danne grundlaget for et af de væsentligste bidrag til meteorit-forskningen og til forståelsen af solsystemet som helhed, siden Apolloprogrammet. Historien begynder i 1969 - the Eagle has landed.

Den mystiske, blå is Der findes på Antarktis, specielt koncentreret i den Transantarktiske bjergekæde og i Yamato Mountainsregionen, mange områder med blålig is (figur 1 og 2). Disse isflader, ofte mange kvadratkilometer i udstrækning, er blevet vindslebet fri for det lag af sne, der ellers dækker det meste af kontinentets ismasser.

Den blå is er ujævn, glat og besværlig at færdes på. Desuden er isen gennemskåret af dybe gletscherspalter. Derfor var det tidnød, som i 1969 fik en japansk ekspedition af geologer til at krydse flere felter med blå is ved Yamato Mountains i et forsøg på at nå frem til kysten og til det skib, der skulle bringe dem tilbage til civilisationen inden vinteren satte ind. På et af disse isfelter fandt de, inden for en ganske lille radius på nogle hundrede meter, ialt ni meteoritter. De lå alene på isen - ingen 'jordiske'



Figur 1. Den blå is, som kontinuerligt eroderes af de kraftige vinde er både meget ujævn og glat at færdes på. Men det er her og på tilsvarende isfelter, at japanske og amerikanske ekspeditioner tilsammen har indsamlet mere end 15.000 meteoritter. Blandt andet den famøse meteorit ALH84001, som måske indeholder tegn på tidlig biologisk aktivitet på Mars.

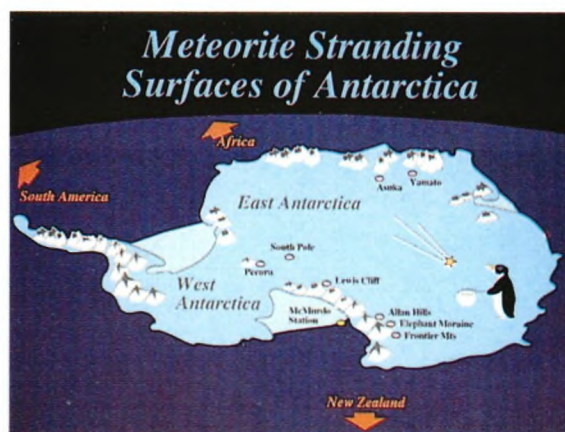
sten blev observeret.

I princippet kunne en sådan opdagelse alene have udløst den tanke, at isfeltet var noget helt særligt i meteoritsammenhæng. Men to kendsgerninger virkede imod en sådan konklusion. For det første er der intet, som tyder på, at meteoritter falder hyppigere over Antarktis end over resten af Jorden. For det andet er det ikke ualmindeligt, at en meteorit brækker i mange stykker, når den passerer ned igennem Jordens atmosfære. Mange øjenvidner til meteoritfald beretter således om 'en regn af sten', der alle lander inden for et relativt lille område. De ni meteoritter blev anset for at være resultatet af et enkelt fald og havnede i ubemærkethed i en skuffe hjemme i Japan.

Først et par år senere åbnede en, mere meteoritinteresset, japansk geolog skuffen og konstaterede, at de ni meteoritter faktisk repræsenterer hele fem forskellige meteorittyper! Det var en meget overraskende opdagelse. Det betød, at der ikke blot kunne være tale om en byge af meteoritter, som først antaget. I stedet måtte de ni meteoritter repræsentere fem forskellige meteoritfald og sandsynligheden for, at de alle skulle være landet inden for det lille område, regnedes med rette for forsvindende lille. Konklusionen måtte være, at en eller anden mekanisme havde koncentreret meteoritterne på det lille stykke nøgne is. Måske virkede en sådan mekanisme også på andre isfelter, hvor meteoritterne er relativt lette at finde?

Bill Cassidy fra University of Pittsburgh, var i blandt

de første til at se denne mulighed. I hvertfald var han den første, som forsøgte at skaffe midler til en egentlig ekspedition. Det var tidligt i 1973 - Afslag. Men det amerikanske forskningsråd havde fået en stædig medspiller.

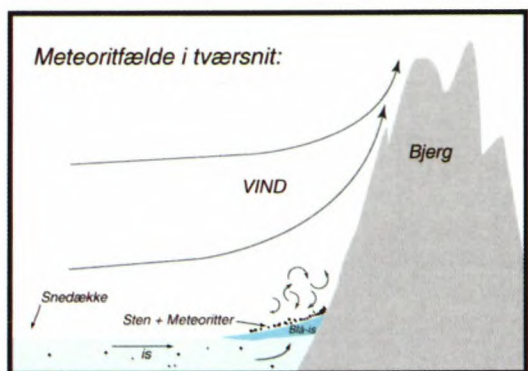


Figur 2. Isfelterne er fortrinsvis koncentreret 'opstrøms' for de Transantarktiske bjergkæde og Yamato Mountains. Her, hvor isen på sin vej ud mod havet støder ind i bjergene, kan de meteoritter, som ligger indkapslet i isen, opkoncentreres på ganske små arealer; såkaldte meteoritfælder.

Hele tre gange søgte Cassidy om økonomisk støtte til en rekognoscering af nye spændende isfelter. Hele tre gange

blev det til afslag. Japanerne mødte større forståelse. Allerede i 1973 blev en japansk ekspedition etableret. Samme år vendte de tilbage til den blå is, hvor de famøse ni meteoritter var blevet fundet. Det gav omgående gevinst. Tolv nye meteoritter havnede i japanske laboratorier efter den sæson. Sæsonen 1974/75 gav et udbytte på 663(!) meteoritter og i 1975/76 blev 308 meteoritter bragt hjem til Japan.

Endelig, i 1976, lykkedes det så Cassidy, med de japanske resultater på hånden, at skaffe midler til en amerikansk ekspedition. Cassidy satsede på udforskningen af nye, ikke tidligere afsøgte isfelter: Lewis Cliff, Elephant Moraine, Frontiers Mountains og Allan Hills. De første ekspeditioner udgik i helikopter fra McMurdo; den amerikanske base på Ross Island (figur 2). Det afgørende spørgsmål måtte besvares: Var den mystiske mekanisme, som tilsyneladende havde koncentreret meteoritterne ved Yamato Mountains, også aktiv på andre isfelter eller var der tale om en unik forekomst, som i givet fald hurtigt ville være udtømt?



Figur 3. Skematisk illustration af en meteoritfældes virkemåde. Når isen rammer bjerget tvinges den opad og kommer derved til at stå skråt på den kraftige blæst. Vinden er nu istand til at erodere isen i takt med at ny is flyder hen til bjerget. Herved gnaves de sten og meteoritter, som ligger indkapslet i isen fri og bliver ophobet på overfladen af den stadig mere nedslidte is. *Grafik: Tove Nyberg.*

Cassidy's helikopterhold ledte bare et par timer og fandt straks en stor, velbevaret meteorit - synlig fra en afstand af flere hundrede meter som den lå der alene; en sort plet på en baggrund af nøgen, blålig is. Stemningen var høj - senere blev den betydelig mere afdæmpet. Det var den eneste meteorit de fandt i løbet af de næste 30 dage. Sæsonen sluttede som en meget behersket succes. Men Cassidy vendte tilbage til den blå is ved de Transantarktiske bjerge og allerede året efter fandt han, hvad han søgte: meteoritter i et antal, der ikke efterlod tvivl om, at hvad der end havde forårsaget de ekstreme meteoritkoncentrationer i Yamato Mountains, så virkede det også her i de Transantarktiske bjerge - på den anden side af kontinentet.

Mekanismen

Siden har Cassidy og hans ANSMET ekspeditioner (ANtartic Search for METeorites) i løbet af 18 sæsoner opsporet næsten 8000 meteoritter på isfelterne i Antarktis' isørken. Japanerne har bidraget med et tilsvarende, fantastisk antal meteoritter.

Men hvad foregår der egentlig dernede på de vidtstrakte issletter, der byder meteoritjægerne det koldeste og mest fjendtlige klima, som denne planet kan fremvise? Hvordan er det gået til, at i tusindvis af meteoritter, som må være faldet fuldstændig tilfældigt ned på Antarktis, er blevet ophobet i disse ekstreme koncentrationer? Visse steder har ekspeditionerne fundet op til 1500 meteoritter inden for et areal svarende til et par gode danske fodboldbaner! Til sammenligning skal det bemærkes, at der - i gennemsnit - falder cirka en meteorit per kvadratkilometer per 100.000 år. Så hvad er der egentlig på færde? Svaret kan deles op i to dele.

På det kolde kontinent er meteoritterne igennem mange hundredetusinde år landet på den bløde sne og er hurtigt blevet indkapslet i isen. Isen er blødere end de stenarter, der udgør de fleste meteoritter og knuser derfor ikke stenene.



Figur 4. Inden det går løs for alvor, træner ekspeditionen i at håndtere en grim situation inde på isen: 'mand i gletscherspalte'. Hidtil har de amerikanske ekspeditioner været forsånket for ulykker, men japanerne fik for få år siden virkelig brug for dette håndværk, da en af deres specielt designede køretøjer styrtede mange meter ned i en gletscherspalte, som ikke var synlig på grund af snedække.

Det kolde klima sikrer desuden, at meteoritterne ikke kommer i kontakt med flydende vand. Vand er uhyre reaktivt overfor de fleste mineraler i meteoritterne og er således hovedårsagen til den hurtige forvitring og nedbrydning, som en meteorit undergår, hvis den lander på vores breddegrader. Indkapslet i gletcherne følger meteoritterne med, når isen, under sin egen vægt, glider fra de højtliggende egne inde omkring Sydpolen ned mod havet. Visse steder undervejs rammer gletcherne forhindringer, som for eksempel et bjerg i den transantarktiske bjergkæde, og bliver tvunget opad (figur 3). Den opskruede is står skråt på vinden og bliver hurtigt slebet ned af den voldsomme blæst, der ubønhørligt pisker henover isørkenen. Isen 'gnaves af' i takt med, at den bliver bragt hen til bjerget; meteoritterne bliver liggende. Det er i virkeligheden et gigantisk, geologisk transportbånd, der kører.

Meteoritter fra enorme områder er i alle disse år flydt med isen hen til forhindringerne og er blevet afsat på overfladen af den stadigt mere nedslidte is. Man taler således om en meteoritfælde. Det er her, på disse vindomsuste isflader, at de amerikanske og japanske ekspeditioner har opsamlet mere end 15.000 meteoritter igennem de sidste 25 år. Et bugnende bibliotek af fragmenter fra vort solsystems tidligste udviklingsstadier er blevet serveret direkte ind i meteoritforskeres laboratorier verden over. I sandhed en fantastisk opdagelse.

Forberedelserne

Hvert år i midten af november samler Dr. Ralph Harvey, Cassidy's elev fra Pittsburgh - nu geolog ved Case Western Reserve University i Cleveland, Ohio, sine folk til den kommende meteoritekspedition. Den professionelle bjergbestiger og geolog John Schutt er fast del af holdet. Derudover sammensættes holdet af frivillige meteoritforskere; flest fra USA men også folk fra Europa deltager i den amerikansk finansierede meteoritjagt.

Hver deltager har forinden gennemgået grundige helbredsundersøgelser. Fanget i en storm inde på isen er ekspeditionen totalt isoleret. Et dårligt hjerte eller et epileptisk anfald må betegnes som 'uvelkomment'. Ekspeditionens størrelse afhænger af opgavens karakter. En 'normal' ekspedition foretager en systematisk afsøgning af et eller flere isfelter, som ved en tidligere rekognoscering har givet lovende resultater. Til en sådan opgave vil ekspedition bestå af 6-10 personer. Rekognoscering af nye isfelter foretages af et væsentligt mindre hold, typisk 4 personer, fordi en sådan opgave kræver en høj grad af mobilitet.

I det Internationale Antarktiske Center i Christchurch, på sydspidsen af New Zealand, samler ekspeditionen en del af det 'lette' udstyr. Den specielle beklædning, som er nødvendig for at færdes i den kolde blæst, udleveres og deltagerne bruger mange timer på at iklæde sig og tilpasse den fulde udrustning. Det er sommer på den sydlige halvkugle og det er varmt at vade rundt i 'Extreme Cold Weather Gear', men alle er klar over vigtigheden

af denne del af forberedelserne. Nye deltagere får en usentimental indføring i livet på isen. Konfronteret med skræmmende billeder af forfrysninger, flystyrt og gletcherspalter gives der ikke plads til tvivl om, at arbejdet på isen kræver særlige forholdsregler. Efter flyveturen til McMurdo i en af den amerikanske flådes Hercules transportfly, fortsætter forberedelserne. Proviant til 7-8 uger pakkes. Snescouterne, kortbølge radio'erne og satellitnavigations systemet testes og det er tid til den obligatoriske 'shakedown'-tur: Et par timers snescooter kørsel fra McMurdo, for foden af den stadig aktive vulkan Mt Erebus, får nye deltagere, i et par dage, chancen for at vænne sig til at arbejde med det forskellige udstyr. Det er også nu, at ekspeditionen forbereder sig på en slem situation: mand i gletcherspalte! (Figur 4).

Jagten

Selve ekspeditionen starter, som alt andet på Antarktis: når vejret tillader det. Holdet sættes ind i det udvalgte område med et af de skiekviperede Hercules fly, som er hovedtransportmidlet i den amerikanske indsats på kontinentet.

Som oftest er ekspeditionernes bestemmelsessted ukendt land for piloterne. Derfor udvises den største forsigtighed under landingerne og piloterne bruger mange ressourcer på at undersøge underlaget inden selve landingen foretages. Området overflyves et par gange for at vurdere vindforholdene. Dernæst overflyves 'landingsbanen' i så lav højde, at skiene slæber henover sneen. Denne manøvre tjener først og fremmest til at undersøge, om der under sneen findes større gletcherspalter og om terrænet er mere ujævnt, end det forekommer fra luften. Den næsten kontrastløse sneflade gør det vanskeligt at vurdere overfladens beskaffenhed. Til dato har piloterne, i denne sammenhæng, gjort et upåklageligt stykke arbejde. Ekspeditionen læsses af og medens piloterne flyver tilbage til kaffen på McMurdo-basen, sniger isolationen sig ind over det lille hold på sneen. Slæderne pakkes og der gøres klar til at køre mod det første isfelt. Jagten kan gå ind.

Afhængig af terrænet og opgavens karakter anvendes forskellige afsøgningsstrategier. På nogle lokaliteter foregår det meste af jagten på meteoritter til fods. Langsomt bevæger holdet sig frem over isen, som tit er overstrøet med almindelige, 'jordiske' sten. Holdet går parallelt og langsomt fremover isen med lille indbyrdes afstand. Det kan være meget vanskeligt at kende meteoritterne fra almindelige sten; specielt igennem de uundværlige solbriller. Meteoritter er kendetegnet ved en sort skorpe, som er opstået da de ydre lag af stenen smeltede under turen ned gennem atmosfæren. Undertiden er denne skorpe knækket af og meteoritten viser et lysere indre underne. De 'lokale' sten kan imidlertid have samme mørke eller sorte farve som smelteskorpen, hvorfor man ofte må være opmærksom på andre meteoritkendetegn. Meteoritter har tit afrundede former og et højt indhold af metallisk jern, som får dem til at virke kraftigt tiltrækkende på en magnet.

Andre isfelter er så store og tætheden af sten så lille, at afsøgningen foregår på snescooter. Fælles for alle disse situationer er det, at meteoritterne ikke bare kan 'samles op'. Foruden at være blandet med almindelige sten kan de gemme sig i små fordybninger på den ujævne is og man bliver hurtigt klar over, at det ikke er nok blot at lade øjnene 'skimme hen over' isen. Det kræver stor udholdenhed at arbejde koncentreret igennem en hel arbejdsdag på 8-10 timer i den iskolde vind, som er forudsætningen for at meteoritterne overhovedet er synlige. Hver gang en meteorit bliver fundet, følger holdet den samme, fastlagte procedure, som efterhånden får karakter af et ritual, hvor alle kender og udfører deres opgave uden overflødige bemærkninger. Den antarktiske kulde er i stand til at fritage selv den mest joviale meteoritjæger evnen til at underholde selskabet.

Meteoritten tildeles et nummer. Dernæst angives stenens dimensioner (figur 5) og den opsamles i specielle, sterile plasticposer. Der er strengt forbud imod at berøre meteoritten direkte. Antarktis er det rene område på vores planet og vi har her en unik chance for at bevare stenens delikate, originale kemi. Efter at meteoritten er blevet opsamlet, vurderes dens 'tilstand': Hvor godt er den bevaret, hvilke skader har den eventuelt lidt - er den revnet, knækket etc? Alle disse informationer noteres, inden meteoritten endelig forsegles i plasticposen. Imens har satellitnavigations udstyret, der altid medbringes når holdet forlader lejren, angivet, med en usikkerhed på mindre end 20 meter, nøjagtigt hvor på kontinentet stenen blev indsamlet. Snart er holdet på jagt efter den næste 'ursten'.

Eventyret fornyr sig

I dag, mere end tyve år efter de første ekspeditioner vendte hjem fra isen med kassevis af meteoritter, kunne man passende spørge sig selv: Skal vi stadig blive ved med at lede? 15.000 meteoritter må da kunne holde meteoritforskerne beskæftiget mange år ind i fremtiden, og man kan vel heller ikke blive ved med at finde nye interessante meteoritter? Dette argument får yderligere vægt, når man samtidigt bemærker, at 85% af de fundne meteoritter er af samme type. Alligevel er svaret et utvetydigt: "Ja! - det kan betale sig fortsat at lede efter meteoritter på Antarktis". Blåisen har på intet tidspunkt i meteoritjagtens hektiske historie mistet evnen til at overraske og forbløffe. Meteoritforskerne, derimod, har med stadigt stigende forundring kunnet konstatere, at bedst som man troede, brikkerne begyndte at passe sammen i et mere komplet billede af vores solsystems dannelse og tidlige udvikling, så kom nye fund til. Nye brikker, der radikalt har ændret det stadig mere komplicerede motiv.

Det er væsenligt i denne sammenhæng at forstå, hvor meteoritterne kommer fra. Hvorfor de bliver bragt ind i Jordens bane omkring Solen, for måske at blive indfanget af Jordens tyngdekraft, og efter den hårde tur ned gennem atmosfæren (meteorer) at falde ned som meteoritter. Meteoritterne stammer hovedsageligt fra asteroidebæltet. Det er et område mellem Mars og Jupiter, som indeholder

millionvis af 'murbrokker'; tiloversblevne klippeblokke, der aldrig blev inkorporeret i en af de store planeter, da solsystemet opstod for ca. 4,5 milliarder år siden, men som istedet dannede en hel population af småplaneter. Disse småplaneter har siden, på en tidsskala af størrelsesorden 100 millioner år, undergået indbyrdes kollisioner. Kollisionerne har medført en fragmentering og nedbrydning af småplaneterne til det, vi idag kender som asteroider. Tyngdekraften fra Jupiter har en virkning langt ind i asteroidebæltet. Derfor sker det, på en geologisk tidsskala ikke sjældent, at asteroider eller meteoroider, som de mindre fragmenter betegnes, bliver kraftigt påvirket af Jupiters periodiske tilstedeværelse. Det vides idag, at specielle områder af asteroidebæltet, hvis karakteristiske omløbstid omkring Solen siges at være i 'resonans' med Jupiters omløbstid, er ekstra påvirkelige af Jupiters tyngdekraft. De asteroider, som findes her, har stor sandsynlighed for at blive slynget væk: enten udad eller indad i solsystemet. På den måde transporteres klippestykker, specielt fra visse velfrænsede områder af asteroidebæltet, rundt i hele solsystemet. Men det betyder samtidigt, at de meteoritter vi finder på Jorden i dag langt fra er repræsentative for hele asteroidebæltet. Faktisk har det vist sig overordentligt svært at identificere asteroider med samme mineralogi, som den mest almindelige type af meteoritter, der udgør næsten 85% af alle meteoritfund på Jorden. Derfor er det oplagt, at asteroidebæltet må være langt mere mangfoldigt, må indeholde mange andre mineralogiske variationer og kombinationer, end dem vi har mulighed for at studere i de meteoritter, som vi allerede har indsamlet. Den afgørende fordel, som Antarktis har fremfor noget andet sted, er, at meteoritterne bevares bedre i det kolde og tørre klima. Dernede, hvor meteoritterne er ophobet og velbevaret igennem hundredetusinder af år, er det således langt mere sandsynligt at finde sjældne eller helt nye typer af meteoritter.

Fremtiden

Gang på gang har antarktisekspeditionernes meteoritfund udvidet vores billede af forholdene i det tidlige solsystem. De opsigtsvækkende data fra marsmeteoritten, der kan fortolkes som spor af primitivt liv tidligt i planetens historie, har nu givet de unikke meteoritforekomster den brede opmærksomhed, som de mange betydningsfulde fund længe har berettiget til. ét spørgsmål trænger sig dog mere og mere på: Findes der andre steder på vores planet, som kan forventes at indeholde, om ikke kvantitativt så måske kvalitativt, tilsvarende meteoritkoncentrationer? Afslutningsvis vil jeg kort forsøge at besvare dette spørgsmål.

Til dato har to danskere deltaget i de amerikanske ekspeditioner til Antarktis. Den første var dansk meteoritforsknings 'grand old man' lektor Vagn F. Buchwald, DTU, som i sæsonen 1982/83 havde den fornøjelse at fejre juleaften på de breddegrader, hvor solen, fra december til februar, aldrig nærmer sig horisonten. I sidste sæson var det undertegnede, som oplevede syv ugers intens me-

teoritjagt med alt, hvad der dertil hører: Uendelige dage, spærret inde i teltet i stormvejr; at 'træde af på naturens vegne' i minus 60 graders celsius; gletcherspalter, der kollapser under snescooteren; frostbidte kinder samt den ubeskrivelige glæde ved at finde en meteorit, som måske stiller nye spørgsmål eller giver bedre svar på den store gåde: hvordan gik det til da vores solsystem blev dannet?



Figur 5. En stor, velbevaret meteorit fotograferet sammen med et af de nummereringsapparater, som ekspeditionen har overtaget fra astronauterne i Apolloprogrammet. Bemærk den glatte, lidt skinnende smelteskorpe, som kendetegner meteoritten efter den hårde tur ned gennem atmosfæren.

Vagn Buchwald placerede Danmark på meteorit-forskningens verdenskort, da han under en fantastisk soloekspedition i 1963 fandt en 20 tons tung jernmeteorit i nærheden af Cape York, cirka 150 km syd for Thulebasen på Grønland. Arbejdet med at bjerge denne fantastiske meteorit er blandt andet beskrevet i Buchwalds fremragende bog 'Meteoritter - Nøglen til jordens fortid' udgivet på Gyldendal, som iøvrigt giver en velillustreret indføring i meteoritternes fascinerende verden. Visse dele af nordøstgrønlands iskappe har faktisk, primært vurderet på baggrund af luftfotografier, potentialet til virke som en meteoritfælde. Der findes her områder med samme, vindslebne is, som ovenikøbet nogle steder er overstrøet med sten.

Det væsentlige i den forbindelse er imidlertid ikke, at isen findes, men hvorvidt det kan anses for sandsynligt, at denne is vil være i stand til at ophobe meteoritterne, som falder over Grønland med samme frekvens som over Antarktis. Den væsentligste forskel på Grønland og Antarktis

er temperaturen. Det er koldt i Nordøstgrønland, selv om sommeren, men her er alligevel betydeligt varmere end på isfelterne på antarktis. Man må derfor forvente, at mulige meteoritforekomster på Grønland ikke vil være beskyttet imod smeltevand på samme, effektive måde. Isen flyder formentlig også hurtigere i nordøstgrønland. Begge faktorer kan anses for at virke 'i den forkerte retning' hvad angår muligheden for at meteoritfælder forekommer deroppe. Men - selve mekanismen hvorved meteoritterne opkoncentreres, er kun overfladisk forstået. Det kan absolut ikke udelukkes, at andre, for nuværende ukendte, faktorer kan opveje alle tilsyneladende forhindringer og muliggøre eksistensen af meteoritfælder på Grønland!

Tanken om, at der måske forekommer store koncentrationer af meteoritter i områder som Sirius patruljen har bevæget sig i i årtier kan, med den danske jantelov trukket godt ned om ørerne, godt virke lidt for stor og uvirkelig. Måske bør vi i den forbindelse først og fremmest huske på, at ingen i første omgang troede Bill Cassidy, da han beskrev sine forestillinger om mulighederne for at gøre væsentlige meteoritfund på Antarktis. Under alle omstændigheder forholder det sig med meteoritpotentialet på Grønland som med muligheden for, at der engang eksisterede liv på Mars: Min mening tæller ikke, din mening tæller ikke. Kun eksperimentet - den ærlige, uomtvistelige observation - har betydning. Let's go.....



Anders Meibom er ph.d studerende ved fysisk institut, Odense universitet. Når han ikke lige leder efter meteoritter arbejder han med metallografiske strukturer i jernmeteoritter. Med henblik på at bestemme afkølingshastigheder i størrelsesordenen 10 grader pr. 1 million år.