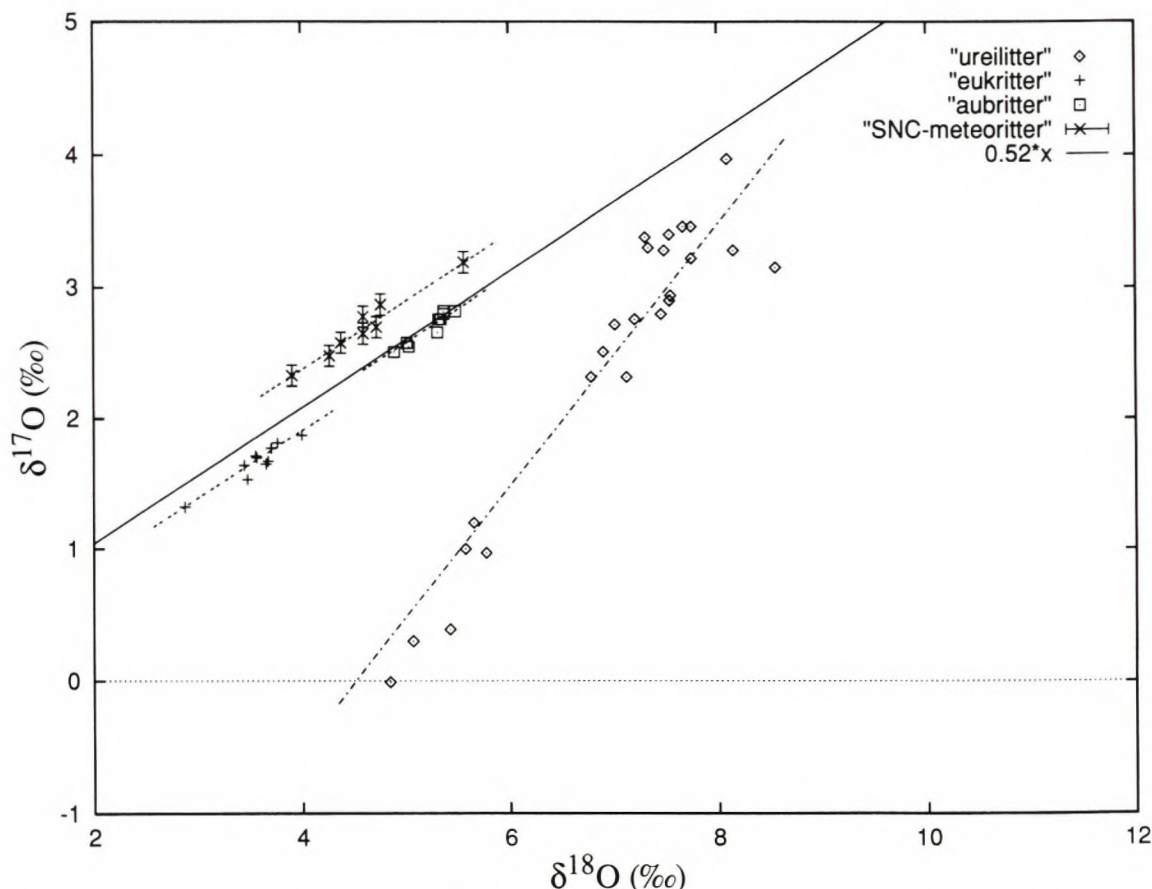


Meteoritter fra Mars?

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

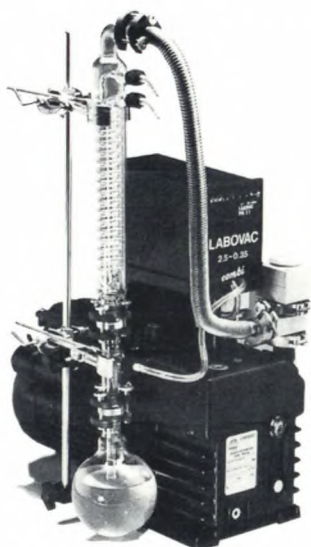
$$\delta^{17}\text{O} = \frac{(^{17}\text{O}/^{16}\text{O}) - (^{17}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{17}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}$$

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



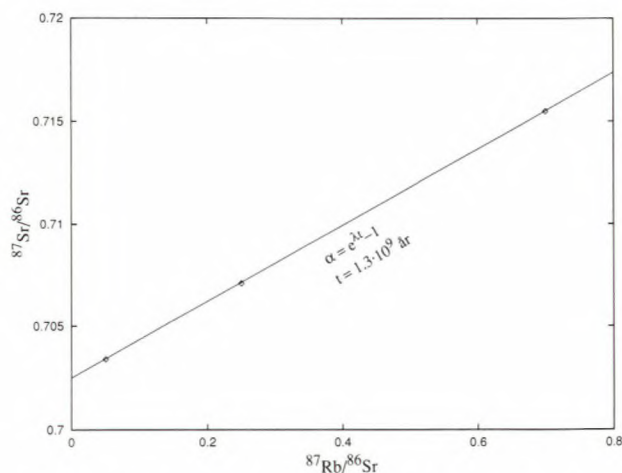
SASKIA HOCHVAKUUM- UND LABORTECHNIK GmbH I ILMENAU er et succesrigt resultat af øst-vest genforeningen i Tyskland. SASKIA's et- og to-trins finvakuumpumper fra 4 til 200 m³h⁻¹ har rotorskiver af et nyt PTFE materiale som sænker støjniveauet med ca. 3 dBA og tillader pumperne at arbejde konstant ved højt 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 turbomolekylarpumper 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

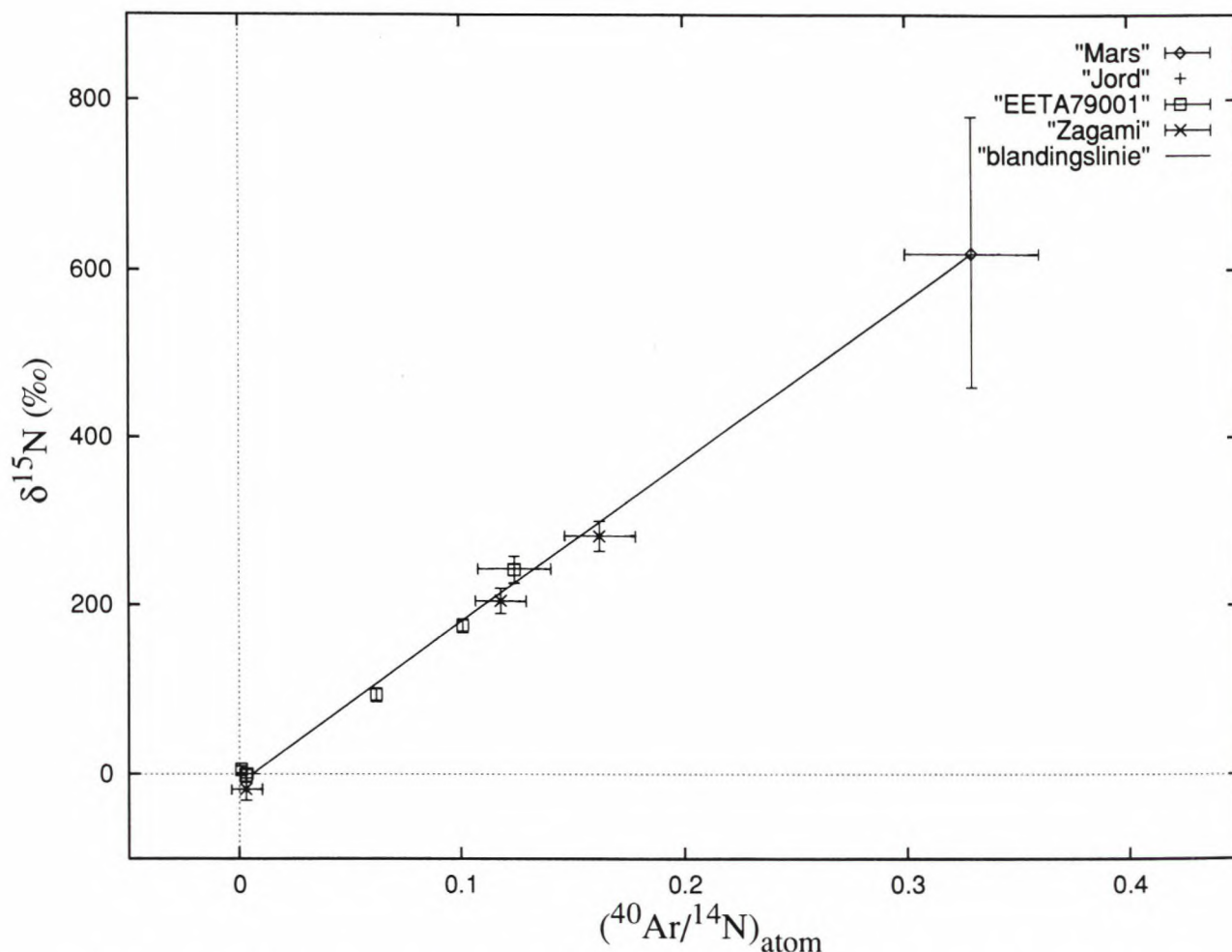
heterogent legeme. Med hensyn til SNC-meteoritterne må det altså gælde, at de kommer fra deres eget moderlegeme, og de andre achondritter har andre tilhørsforhold.



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.

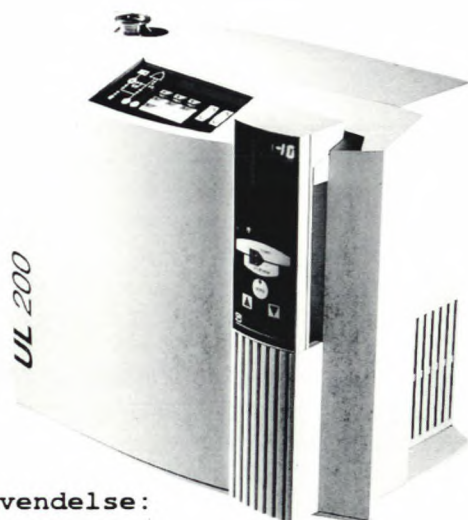
SNC-meteoritterne deles i 4 grupper: 7 shergottitter (efter Shergotty, basalter), 3 nakhlitter (efter Nakhla, clinopyroxenitter), Chassigny (dunit) og endelig ALH84001 (orthopyroxenit), der er kommet til så sent, at den ikke har fået plads i navnet SNC.

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):

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

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.

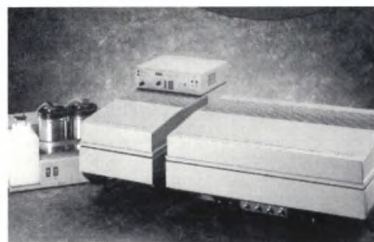


optilas

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

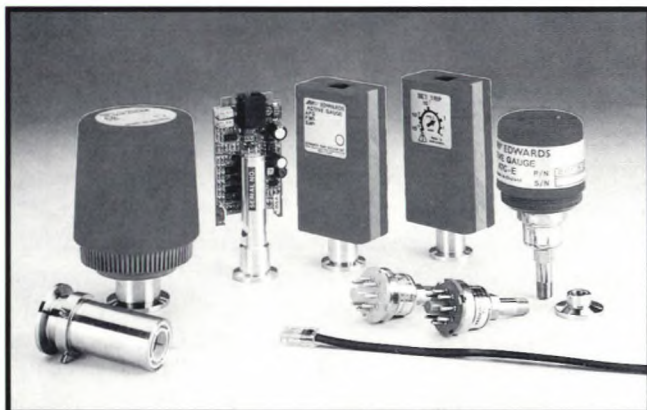
Billedvej 2

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 vakuumpumper 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