

Meteoritkraterne, Månen og tektitterne

Carl Emil Andersen

De synlige meteoror, der farer ind i Jordens atmosfære, og som sædvanligvis bremses op i højder af lidt under 100 km over jordoverfladen, har gerne hastigheder mellem 30 og 73 km pr. sekund i forhold til Jorden, – aldrig mere, i sjældnere tilfælde mindre, allermindst 11 km pr. sekund.

Nogle af dem optræder i byger. De har lige store hastigheder og parallelle baner, når de tilhører samme byge, men vidt forskellige hastigheder og retninger fra byge til byge.

Tauriderne, der kommer i retning fra Tyren, omkring 1. november, trænger ind i jordatmosfæren med en begyndeshastighed af 31 km pr. sekund, regnet i forhold til Jorden. De bevæger sig i bane omkring solen med en omløbstid, der kun er 3,3 år. De er rester af Encke's komet.

Leoniderne, der kommer fra Løven, i slutningen af november, farer ind i atmosfæren med en hastighed af 72 km pr. sekund. De optræder i særlig stort antal hvert 33. år, i sidste århundrede til tider næsten som et fyrværkeri. De tilhører Tempel's komet.

De meteorfremkaldende partiklers hastighed i forhold til Jordens atmosfæregrense i kollisionsøjeblikket bestemmes af deres egen hastighed og retning i forhold til Solen, når de passerer Jordens bane, desuden af Jordens hastighed og retning, og endelig af den acceleration, som Joden fremkalder i tiden lige før en nærpassage eller kollision.

Jordens hastighed omkring Solen er ca. 30 km pr. sekund.

En stofmasse, der falder direkte mod Solen fra uendelig afstand og med begyndeshastighed 0, dvs tilhørende solsystemet, har, når den passerer jordbanen, præcist dobbelt så stor kinetisk energi som et legeme i samme punkt ville have, hvis det var i cirkelbevægelse. Et legeme i radial retning har altså her $\sqrt{2}$ gange så stor hastighed som Jorden, dvs ca. 42 km pr. sekund i retning mod Solen.

Umiddelbart ved soloverfladen bliver hastigheden 617 km pr. sekund. Hvis det falder lige ved siden af Solen, et teoretisk grænsetilfælde mellem forbifald og indfald, får det samme maksimalhastighed. Udkastningshastighederne er tilsvarende store. Hastighederne i forhold til jordbanen bliver altså mellem $42 + 30 = 72$ og $42 \div 30 = 12$ km pr. sekund.

Partikler med mindre baner har mindre hastigheder i forhold til jordbanen. Hvis banerne var helt ens, ville de relative hastigheder blive 0 for cirkelbaner og ganske små for cirkellignende ellipsebaner.

Til de nævnte relative hastigheder kommer ved nærpassager og kollisioner et tillæg på grund af Jordens tiltrækning, som varierer bl. a. efter påvirkningstiden.

Det er ikke særlig stort for legemer, der i forvejen bevæger sig hurtigt. Derfor bliver maksimalhastigheden kun forøget fra ca. 72 til ca. 73 km pr. sekund, som nævnt ovenfor.

Hvis et legemes relative begyndelseshastighed er 0, accelereres det til en sluthastighed af 11 km pr. sekund umiddelbart ved jordoverfladen. Denne hastighed er $\sqrt{2}$ gange så stor som cirkelhastigheden ved jordoverfladen, som er ca. 8 km pr. sekund.

Svarende hertil bibringer Månen et legeme med begyndelseshastigheden 0 i forhold til Månen en sluthastighed af 2,4 km pr. sekund ved Månens overflade.

Omvendt vil et legeme, der udkastes fra Månen, undvige fra Månen, hvis begyndelseshastighederne overstiger 2,4 km pr. sekund.

Månens egen hastighed omkring Jorden er ca. 1 km pr. sekund. Undvigelseshastigheden fra Jorden i månebanens afstand er $\sqrt{2}$ gange så stor, altså 1,4 km pr. sekund. Hvis et legeme farer bort fra Månen med en hastighed af $2,4 + 1,4$ km = 3,8 km pr. sekund, må det indgå i en bane omkring Solen, hvor det bevæger sig uafhængigt af både Månen og Jorden. NB: Denne forenkede beregning er dog kun en approximation.

Legemer med langstrakte baner omkring Solen kan altså kollideres med Månen med hastigheder, der kan være indtil 30 gange så store som undvigelseshastigheden for Månen og ca. 20 gange så store som undvigelseshastigheden for Månen + Jorden i månebaneafstanden.

Energimæssigt bliver forholdene langt større, næsten 1000:1 i ekstreme tilfælde.

Dersom et legeme i bane omkring Solen tørner mod Månen, kan man derfor forvente, at en del af det materiale, der bortkastes, får så store hastigheder, at det ikke kan falde tilbage til Månen. Det må da komme i baner omkring Jorden eller endog i baner omkring Solen uden Jordens kontrol.

Når en sten udefra rammer Månen, opbremses den pludseligt, i modsætning til et meteor, der bevæger sig omkring et sekund igennem jordatmosfæren. Dens bevægelsesenergi bliver for en stor del til varmeenergi, især dens yderste dele samt de trufne månebjergarter, som påvirkes lige så kraftigt.

Hvis kollisionshastigheden er 40 km pr. sekund, svarer den kinetiske energi til henvend 200.000 calorier pr. gram. Følgelig vil temperaturen stige til titusinder af grader, hvor den bliver størst. Den vil altså langt overgå alle stoffers fordampningstemperatur, og der må opstå en voldsom eksplosion.

Månens overfladebjergarter synes at bestå helt overvejende af SiO_2 , i hvert fald i mareområderne. Det fordamper ved temperatur mellem 2000 og 3000°, stærkt varierende med trykket. Ved 2500° C, altså i absolut mål

ca. 10 gange almindelige temperaturer, vil siliciumdioxid-molekylernes midelhastighed være mellem 900 og 1000 m pr. sekund. Men hastighederne er meget forskellige. En del af molekylerne vil derfor allerede ved denne temperatur få hastigheder, der overstiger undvigelseshastigheden for Månen.

Da eksplosionsluften tilmed maksimalt får langt højere temperaturer, må næsten alle molekyler med retning uad fra Månen fare bort.

Ved afkølingen af siliciumdioxid-dampene må der dannes glasdråber og glashagl. En del må falde tilbage til måneoverfladen. En anden del må fare bort, men komme i baner under kontrol af jordkloden. En del må helt unddrage sig jordklodens kontrol. Hvordan materialet fordeles, afhænger først og fremmest af dets temperaturudvikling, der er forskellig fra sted til sted, desuden af dets molekylvægte og tillige af dets atomvægte, fordi en del er sønderdelt i dets grundstofbestanddele og endog ioniseret ved de høje temperaturer.

Ved eksplosioner i måneoverfladen må dampene medrive materiale fra omgivelserne.

Trykpåvirkningen vil medføre, at det materiale, der accelereres til meget store hastigheder, bringes til ophedning og smeltning eller fordampning, i det mindste for en dels vedkommende. Der bortpustes altså også glødende smelteklatter med moderate temperaturer.

I denne sammenhæng er det af interesse at konstatere, at materialets tilstandsform desuden på andre måder kan ændres voldsomt, selv hvor påvirkningerne er mindre kraftige. Således kan kvarts eller amorft SiO_2 erfaringsmæssigt ved meget høje tryk omdannes til et mineral, coesit, med væsentligt højere vægtfylde, ca. 3,0 mod 2,6 for kvarts. Coesit er fundet mange steder i og ved meteoritkratere på Jorden. Ved tryk over 120.000 kg/cm² kan der endog dannes et mineral med endnu mere kompakt krystalstruktur og med en vægtfylde, der er ca. 4,3. Det kaldes Stischowit. Ved de voldsomste påvirkninger må alt naturligvis smelte og fordampe eksplosivt.

Det må fremhæves, at selv de laveste temperaturer, der akkurat giver anledning til fordampning, bibringer siliciumdioxid så store molekylehastigheder, at en lille del uomgængeligt må unddrage sig Månens tiltrækningskraft, og at en stor del vil fare bort ved væsentligt højere temperaturer.

Følgelig må der, hver gang meteoriter danner store eksplosionskratere på Månen, dannes kondensationsdråber og derpå hagl af glas, som kommer i kredsløb om Jorden.

Også forekomsten af størknede kondensdråber af glaslignende materiale på Månen indikerer, at der må være eller have været lignende perler i kredsløb omkring Jorden eller Solen.

De mindste partikler vil af solvinden og sollysstrålingen blive blæst bort radialt fra Solen til områder, hvor den radialt drivende kraft er væsentligt svagere, formodentlig mest til de store vidder mellem Mars og Jupiter.

De større partikler, såvel størknede kondensationsdråber som eksplosionssprøjt i klatter, hvis størrelse og former hovedsagelig bestemmes af overfladekræfterne, vil komme i langstrakte baner omkring Jorden. Da banerne stadig ændres på grund af massetiltrækningen fra både Jorden og Månen, må disse strømme af partikler i tidens løb blive opfejlet af Månen og Jorden.

Overensstemmende hermed konstaterer man, at meteorittætheden tiltager i området mellem Jordens og Mars' bane, men aftager stærkt nær ved selve Marsbanen.

I de prøver af sten og grus og støv, der blev opsamlet under den første månelanding, har man fundet store mængder af glaskugler i størrelser fra 1 mm og nedefter. De synes at udgøre mellem fjerdedelen og halvdelen af overfladebjergarterne på den lokalitet.

Glasperlernes mængde vidner om, at meget store mængder månemateriale må have været udsat for så høje temperaturer, at det har været i dampform.

Glasperlerne udlægges af nogle som tegn på vulkansk virksomhed og af andre som tegn på meteoriteksplodings-virksomhed.

Når det betænkes, at tyngdekraften på Månen er ringe, må det vel antages, at vulkanske udbrud må blive mindre eksplosive end på Jorden, idet fremtrængende materiale ikke udsættes for så store vægtmodtryk som på Jorden.

På den anden side er det helt sikkert, at der er foregået meteoritekspllosioner i stor stil på Månen, og at månemateriale derved må være bragt i dampform.

I nogle af de små kratere, som månelandingsfolkene så på nært hold, var der glasagtige smelteklatlignende sten i bunden; men ingen af dem blev taget op.

Enkelte af de hjembragte sten har blærer og porer og flydestrukturer. Det udlægges af nogle geologer som tegn på vulkanisme. Men det er en erfarings-sag, at der ved jordiske meteoritkratere påtræffes lignende sten. Også ved atomkerneekspllosioner dannes der sådanne bjergarter.

Man kan altså ikke slutte noget sikkert om vulkanisme på Månen på det grundlag. Men meteoritekspllosioner er i alle tilfælde en kendsgerning.

Når man nu ved, at der fra Månen ofte er borteksploderet hurtigt størknende smelteklatter og dampe af månebjergarterne med sådanne hastigheder, at en del ikke har kunnet falde tilbage til Månen, melder spørgsmålet sig, om man kan finde sådanne sten på Jorden.

Her har man igennem næsten to århundreder kendt til fremmedartede sten af naturligt glas. De påtræffes i flere egne af Jorden, altid i bestemte geologiske horisonter, eller rettere sagt, i vidt forskellige lag med samme alder, dog kun tynde lag. Det tyder på momentane udspreddninger på tidspunkter, der varierer meget fra den ene strøning til den anden.

Det er bemærkelsesværdigt, at de ikke indeholder luft, ej heller vanddamp. Nogle af dem indeholder små strøkokorn af coesit. Det tyder på, at materialet engang har været udsat for enorme trykpåvirkninger.

Der kan også påtræffes små korn af jern med et stort indhold af nikkel i form af kamacit. Det vidner om meteoritisk oprindelse.

Man har igennem halvandet århundrede søgt forgæves efter en tilfredsstillende teori for disse stens oprindelse. I løbet af den sidste menneskealder og navnlig i 1960'erne er der imidlertid fremkommet en lang række vidnesbyrd om, at de må være kommet fra Månen.

Denne teori passer som hånd i handske til den ovennævnte teori om, at der ved dannelsen af de store meteoritkratere på Månen uomgængeligt må udkastes månemateriale, og at en del af de store partikler må træffe Jorden før eller senere.

De pågældende smelteglassten på Jorden kaldes med et fællesnavn tektiter, afledt af det græske ord tektos, smeltet.

Men de har særnavne for hver forekomst.

De fandtes først i Tjekkoslaviet og Ungarn og nærliggende egne; senere har man fundet tektiter mange andre steder, nemlig i hele Australien, på Tasmanien, Java, Malayahalvøen og nærliggende øer, i Indokina, på Philippinerne, i den Libyske ørken, ved Elfenbenskysten, i Columbia, Texas, Georgia samt på en lille ø ved USA's nordvesthjørne.

Udseendet og strukturen varierer betydeligt fra område til område.

Udspretningsstidspunkterne er højst forskellige. Tektiterne i Australien, Sydøstasien og Elfenbenskysten er mellem $\frac{1}{2}$ og 1 million år gamle. Muligvis er de lige gamle, næsten da. De kan måske være udkastet samtidig fra Månen, men i lidt forskellige retninger, og derfor være opfejlet af Jorden på lidt forskellige tider.

Tektiterne i Tjekkoslaviet er ca. 15 millioner år gamle, og Texas-tektiterne, der kaldes Bediasiterne, er ca. 40 millioner år gamle.

Det er bemærkelsesværdigt, at tektiterne altid opviser samme absolutte aldre som de bjergarter, de findes i, dvs blev udspredd på.

Aldersbestemmelserne er hovedsagelig baseret på omdannelsen af kalium til argon. Den viser det tidspunkt, hvor materialet er blevet afgasset for det argon, som må have været der i forvejen. Materialet må altså have været i smeltet tilstand på et tidspunkt, der ikke kan ligge ret langt forud for det tidspunkt, da det blev udspredd på Jorden.

Stenene indeholder ikke målelige mængder af det radioaktive Al 26, som dannes ved kosmisk stråling i overfladen af meteoriter. Følgelig kan de ikke have bevæget sig omkring i verdensrummet i synderlig lang tid.

Det stemmer med, at opsmeltningstidspunktet og udspretningsstidspunktet er næsten sammenfaldende.

Nogle af tektiterne, specielt de australske, opviser yderst ejendommelige former og strukturer.

Det er tydeligt, at de mest regelmæssige oprindeligt har haft kugleform og derefter er blevet udsat for voldsom termisk og mekanisk påvirkning, men begrænset til den ene side. De må pludselig være blevet udsat for stærk luftmodstand, altså store lufthastigheder.

Deres oprindelige form og deres manglende indhold af luft og vand vidner om, at de er størknet i det fri, uden luftomgivelser. Derefter er de pludselig blevet udsat for påvirkning af luft ved store relative hastigheder. Det har bevirket, at de er blevet ophedet til smeltning på den ene side og samtidig udsat for voldsomt tryk på samme side. Herved er der dannet et tyndt smelte-lag, som straks er flydt eller trykket i en jævn strøm ud til siderne. Her er der omkring den fremadvendte flade dannet en krave. Denne indeholder en smule luft, i modsætning til stenen iverigt. Kravens volumen svarer til materialetabet fra den side, hvorfra materialet er bortflydt. På den anden side er kugleformen bevaret.

I de seneste år har man udsat kugler af industrielt fremstillet glas med lignende kemisk sammensætning for meget hurtige, i forvejen ophedede luftstrømme, i specielle vindtunneler, hvori der kan fremkaldes lufthastigheder på mange km pr. sekund. Herved er det lykkedes at bibringe glaskuglerne de karakteristiske former og strukturer, som nogle af de australske tektiter har fået.

Man har endog været i stand til at beregne, hvor store relative lufthastigheder de australske tektiter har været udsat for.

Det drejer sig om ca. 10 km pr. sekund. Hvis australiterne er kommet fra Månen, måtte hastigheden blive 11 km pr. sekund.

Australiterne er udsprede over hele Australien. De er som regel nøddestore. Ingen vejer over $\frac{1}{2}$ kg. En praktisk nedre grænse for deres størrelse bestemmes af sandsynligheden for at finde dem.

Ved Australien, Antarktis, Philippinerne og Elfenbenskysten kan man i langsomt dannede dybhavssedimenter i en bestemt zone med kun ganske lille tykkelse finde talrige glasperler, som er millimeterstore eller mindre. Med hensyn til kemisk sammensætning og former ligner de meget de tektiter, man kan samle op på de tilgrænsende landområder i aldershorisonter fra samme tid.

Der er grund til at tro, at alle disse sten og støvkorn er udsprede samtidig.

Jordkloden udsættes forøvrigt til stadighed for bombardement eller indfald af småpartikler, der kommer fra verdensrummet. Af isprøver fra Antarktis og Grønland har man kunnet isolere støvkorn, hvoraf nogle er synlige, de fleste dog kun synlige i mikroskop. Man har beregnet, at jordkloden hvert år modtager ca. 1 million tons sådanne støvkorn.

En del af disse støvkorn er magnetiske. Det vidner om, at de er af meteoritisk oprindelse. Nogenlunde hele denne støvmængde må stamme fra det store verdensrum. I de pågældende egne tilføres der nemlig ikke ret meget støv af jordisk oprindelse.

Hidtil har man troet, at alt dette støv var meteorstøv eller størknede afblæsningsdråber fra meteorsten, altså stof, der har været i baner omkring Solen.

På grundlag af de foran skitserede teorier om, at der fra tid til anden fra Månen udsendes store mængder af materiale, ved visse eksplosioner millioner af t, hvoraf en del må træffe jordkloden, kan man antage, at en del af støvet i Indlandsisen må stamme fra Månen.

Er det tilfældet, kan man forvente at finde det koncentreret i bestemte aldershorisonter i Grønlands og Antarktis' indlandsis, ligesom mikrometeoriterne i dybhavssedimenterne ved Elfenbenskysten, Philippinerne og Antarktis. Viser det sig at være tilfældet, vil det være et vægtigt indicium for den sammenfattende teori om tektiterne.

Både mikrotektiterne og makrotektiterne fra en enkelt udspreddning optræder over vidtstrakte områder. Derfor bliver det måske en skønne dag muligt ved hjælp af disse udspreddningshorisonter at tidsskorrelere aflejringer af højst forskellig art i vidt adskilte egne af Jorden.

På Månen vil man muligvis med tiden kunne foretage lignende korrele- ringer af glaskuglespredningerne. Eventuelt vil man kunne forfølge enkelte udspreddningslag hen imod bestemte store kratere og derved konstatere deres oprindelsessted. Da glaskuglerne synes at have meget varierende farve og måske også sammensætning, kan visse lag eventuelt vise sig at være karakteristiske.

Det er vel tvivlsomt, men på den anden side vel næppe helt udelukket, at man en gang kan nå så vidt, at man kan tidsskorrelere glasperlelagene i Jordens dybhavssedimenter, ørkenområder og dybt i Grønlands gamle indlandsis med glasperlerne på Månens roligt opbyggede mareområder og måske med dens nyeste store meteoriteksplussionskratere.

(Foredrag i Dansk Geologisk Forening 22. oktober)