

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

EN HJÆLP TIL FORSTÅElsen AF MÅNENS KRATERE.

af Tommy Jørgart

Geologen kan ofte have glæde af at ty til fysikken, når geologiske fænomener skal forklares. Vi skal nu se, hvorledes overskriftens formel er nøglen til forståelsen af månelandskabets udformning.

$\frac{1}{2} m v^2$  er bevægelsesenergien af et legeme med massen  $m$  og hastigheden  $v$ . Hvis massen måles i gram og hastigheden i cm per sekund, får man bevægelsesenergien i erg. Denne energienhed vil vi fortrinsvis benytte.

Formlen lader sig med ligeså stor ret anvende på et molekyle i en gas (atmosfære) som på et himmellegeme. Begge disse anvendelser hører til problematikken om månens overfladeforhold.

### MÅNENS ATMOSFÆRE

Molekylerne i en gas bevæger sig omkring mellem hinanden med hastigheder, der afhænger af gassens temperatur. Alle mulige hastigheder er repræsenteret, men de høje i desto større mængder jo højere temperaturen er. Dette skyldes, at temperaturen er et indirekte mål for gassens energiindhold, som i det væsentlige er summen af de enkelte gasmoleky- lers bevægelsesenergi -  $\frac{1}{2} M v_1^2 + \frac{1}{2} M v_2^2 + \frac{1}{2} M v_3^2 + \text{o.s.v.}$

indtil alle molekyler er talt med.  $M$  er her molekylévægten, som er det samme tal i alle leddene, fordi der her er regnet med en gas bestående af kun ene slags molekyler, for eksempel ren ilt.  $v_1, v_2$  o.s.v. er de hastigheder, som de enkelte molekyler har. Ved en given temperatur kan  $v_1, v_2$  o.s.v. variere ret frit, og selvom de vil have en bestemt gennemsnitsværdi, vil der altid være nogle med en forholdsvis meget høj hastighed. Hvis molekylernes hastighed i jordatmosfæren kunne observeres direkte, ville vi finde, at en ganske ringe brøkdelen af en promille har hastigheder større end  $2\frac{1}{2}$  km per sekund. Dette får ingen alvorlige konsekvenser for jordatmosfæren, idet denne hastighed er alt for lav til, at gasmolekylerne kan

undslippe Jordens tyngdefelt. På Månen ville det gå anderledes, idet Månens løsrivelseshastighed er  $2\frac{1}{2}$  km per sekund. Kun en forsvindende ringe andel af en hypotetisk måneatmosfæres molekyler ville overstige denne hastighed, men der er alligevel tilstrækkelig mange til, at en måneatmosfære så tæt som Jordens vil forsvinde så godt som totalt i løbet af 100 millioner år. Dette gælder naturligvis også væsker, som kan fordampe let, for eksempel vand. At Månen ikke har atmosfære og oceaner er altså let at forklare på grund af, at gasmolekyleres bevægelsesenergi udtrykkes som  $\frac{1}{2} M v^2$ .

Månens mangel på atmosfære og vand har to vigtige konsekvenser:

1) Forvitring, det vil sige nedbrydning af de geologiske aflejringer, kan ikke finde sted. På Jorden foregår nedbrydning som bekendt ved mekanisk og kemisk indvirkning af vand og atmosfære.

2) Måneoverfladen er ubeskyttet mod bombardement af meteorsten og partikler fra verdensrummet. På Jorden brænder alle små legemer op i atmosfæren. De større meteorsten når ned, men for flertallets vedkommende kun hvis de har en heldig faldretning, hvor de bremses tilstrækkeligt for sigtigt op.

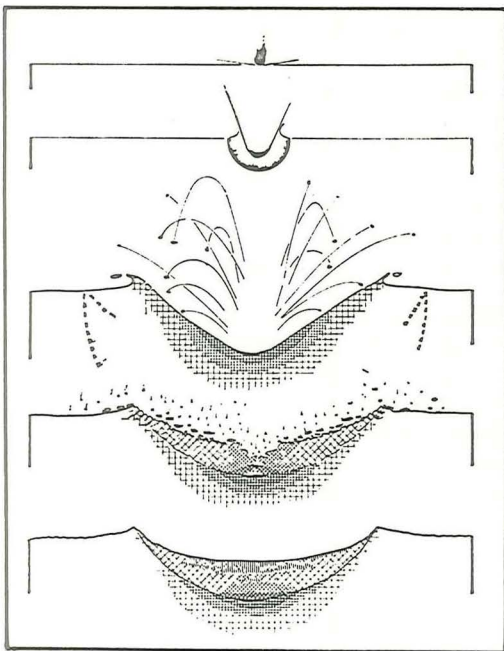
## MÅNENS KRATERE

Der hersker i dag ikke tvivl om, at Månens koparrede udseende skyldes disse to faktorer. Når Månen rammes af et legeme fra verdensrummet, dannes et krater, som afhængig af dets størrelse vil forblive uskadt igennem millioner eller milliarder år. Dets levetid på måneoverfladen er bestemt af den tid, der går indtil et eller flere nye meteornedslag udsletter det.

Figur 1 viser selve dannelsen af krateret. Man vil måske studse over, at meteorstenens størrelse er så lille i forhold til krateret, men dette er ingen fejltagelse. Det er ikke meteorstenens diameter, men dens energi, der afgør, hvor stort krateret bliver. Når en meteorsten standses af måneoverfladen udløses al dens bevægelsesenergi, som udtrykkes ved den nu så velkendte lov

$$E = \frac{1}{2} m v^2.$$

Hvis meteorstenen har en hastighed på 3 km per sekund, er dens bevægelsesenergi  $\frac{1}{2} \times (3 \times 10^5)^2 = 4,5 \times 10^{10}$  erg per gram. Dette siger ikke umiddelbart ret meget, men det svarer til sprængenergien af trotyl. En meteorsten, der rammer måneoverfladen med nogle få km per sekund vil derfor virke som et kraftigt sprængstof. Ofte vil virkningen være langt kraftigere end trotyls, idet 3 km per sekund er noget nær den laveste hastighed, et legeme kan ramme Månen med. Eksplosionen fører til dannelsen af et krater, hvis diameter afhænger af den eksplosive energi. Sammenhængen er simpel, hvilket man har fundet ud af ved at eksperimenter



Figur 1. Dannelse af et meteornedslagskrater i fem trin. Efter Dence (1968).

1. Måneoverfladen rammes.
2. Meteorstenen exploderer, hvorved den selv og overfladematerialet fordamper, smeltes, smadres og udslynges.
3. Det udslyngede materiale vender delvis tilbage i ballistiske kurver.
4. Krateret er nu næsten komplet.
5. Opbygningen af det færdige krater. De centrale dele er stærkest påvirket af eksplosionen.

med sprængstoffer med kendt energiindhold på jordoverfladen eller i ringe dybde under denne. Som sprængmidler har man brugt atombomber, trotyl og beskydning med projektiler. Eksperimenterne har frembragt kraterer op til over 1 km i diameter. I diagrammet figur 2 er afsat et stort antal af kendte samhørende værdier af kraterdiameter og sprængstofenergi. De ligger tilnærmelsesvis på en ret linie uanset sprængstoffets karakter. Nu kan man håbe på, at den rette linie stadig er rigtig, hvis vi betragter større kraterer og energier (den punkterede linie). I så fald kan man benytte diagrammet til ud fra de store månekraters diameter at bestemme energien  $E$  af de eksploderede meteorsten (meteoriter). Det største månekrater, Mare Imbrium med en diameter på 600 km, er dannet ved en eksplosion på  $4 \times 10^{31}$  erg ifølge figur 2. Dette svarer til en milliard megatonbomber.

## METEORSTENENES STØRRELSE

Det kunne være interessant at få noget at vide om, hvor store meteorstenene er, det vil sige deres masse  $m$ . Hertil kan formelen  $E = \frac{1}{2} m v^2$  igen bruges, idet den skrives om til

$$m = \frac{2 E}{v^2}$$

Udover E, som kendes fra diagrammet figur 2, skal også kendes v, meteorstenens hastighed i nedslagsøjeblikket. Det gør man naturligvis ikke, men man er ikke fuldstændig hjælpeløs, når der skal gættes. Ikke alle hastigheder er nemlig lige sandsynlige, og nogle er umulige.

1) Hastigheder under 1,7 km per sekund kan ikke forekomme på grund af Månens egen tiltrækning.

2) Materiale fra solsystemet kan på den anden side ikke overstige 73 km per sekund i forhold til Månen. Et legeme, der kommer fra det uendelige og som er påvirket alene af Solens tyngdekraft vil i et frontalt sammenstød ramme Månen med netop denne hastighed.

3) I øjeblikket rammes Månen næsten udelukkende af meteorsten, hvis hastigheder i forhold til Månen er cirka 10-30 km per sekund. Dette kan man slutte ud fra observerede meteorstensfald på Jorden. I de få tilfælde, hvor man har kunnet bestemme meteorstenenes bane før de faldt, har det vist sig at være langstrakte ellipser, der når ud i nærheden af Jupiters bane. Der er god grund til at tro, at næsten alle meteorsten kommer fra denne distance, idet der i zonen mellem Mars og Jupiter kan observeres et stort antal små planeter, asteroiderne, af hvilke meteorstenene kan være større eller mindre brudstykker. Asteroiderne har sandsynligvis været den eneste meteorstenskilde i lange tider og det er givet, at et stort antal kratere på Månen stammer fra eksploderede asteroider. Det er muligt at beregne, at asteroiderne vil ramme Månen med en typisk hastighed på 20 km per sekund.

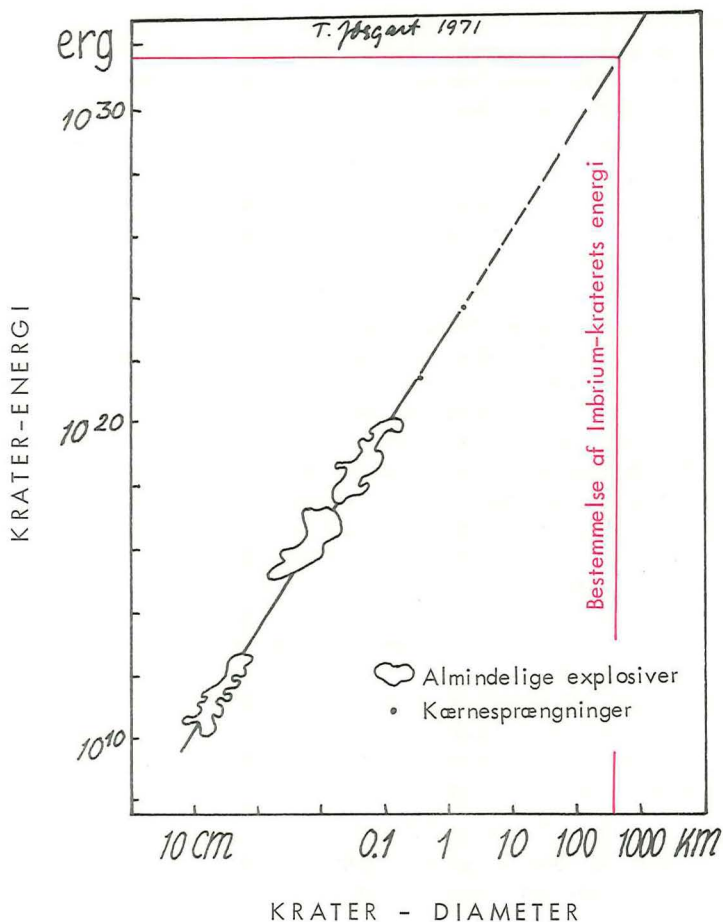
Som eksempel vil massen m af det legeme, som dannede Imbriumkrateret blive beregnet, idet udgangspunktet tages i de foregående oplysninger om hastigheden af himmellegemer, der slår ned på Månen samt Imbrium-meteorstenens energi som bestemt ved figur 2. Vi har

$$\frac{1}{2} m v^2 = 4 \times 10^{31} \text{ erg.}$$

I nedenstående tabel er opført nogle samhörrende værdier af masse og hastighed, som passer ind i denne ligning.

Situation	hastighed (km/s)	masse <sup>*)</sup> (g)	$\frac{1}{2} m v^2$ erg	diameter (km)
v mindst mulig	1,7	$2,8 \times 10^{21}$	} $4 \times 10^{31}$	117
v typisk	20	$2,0 \times 10^{19}$		23
v størst mulig	73	$1,5 \times 10^{18}$		9,6

\*) Til sammenligning er Månens masse  $7,344 \times 10^{25}$  g



Figur 2. Sammenhængen mellem krater-diameter og krater-energi. Data samlet fra forskellige kilder. Bemærk at begge skalaer er logaritmiske, det vil sige, at trinene er 1, 10, 100, 1000 og så videre i stedet for 1, 2, 3, 4 og så videre.

Den størst mulige masse som Imbrium-meteorstenen kan have haft ses at være cirka 2000 gange større end den mindst mulige. Men den midterste værdi skulle vel være mere typisk? Ja, dette ville nok ikke være meget galt, såfremt Imbrium-meteoriten tilhørte asteroiderne. Om dette er tilfældet er imidlertid langt fra sikkert. Imbrium-krateret tilhører nemlig en type kratere, som er meget store og meget gamle, fra Månens ældste tid. At

Imbrium-krateret er meget gammelt ses ved, at det er helt fyldt med mørke materialer. Aldersbestemmelse af hjembragt månemateriale af denne type viser, at dette materiale oversvømmede krateret og andre dele af Månens forside for 3-4 milliarder år siden. De oversvømmede kraterer må derfor være endnu ældre, nogle af dem måske så gamle som Månen, 4,6 milliarder år.

Det forhold, at de gamle kraterer er Månens største, skal måske tages som et fingerpeg om, at meget var anderledes i solsystemets tidligste dage. Er Imbrium-krateret vidne om selve opbygningen af Månen? Hvis Månen er opstået og vokset ved indstørtning af planetoider, det vil sige, småplaneter, som kredsede om et fælles tyngdepunkt, kan det regnes ud, at de yderste af disse er faldet med så godt som laveste hastighed, cirka 1,7 km per sekund. Denne situation, der er beregnet i øverste linie af tabellen, fører til den størst mulige masse af planetoiden, som er cirka 1/26000 af Månens masse. Diameteren af Imbrium-planetoiden kan beregnes ved at antage, at den var kuglerund og havde massefylde som Månen, 3,3 g per kubikcentimeter. Den har været større end Sjælland, som det fremgår af tabellens sidste kolonne (de andre tal i tabellen er til sammenligning).

*T. Jørgensen*

## VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Mineralogisk Museum, Østervoldgade 5-7, 1350 København K. (Tlf. Mi 5001).

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Mona Hansen, Søren Floris, Erling Bondesen.

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 15.00 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 68880. (Moms inkluderet).

Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

Eftertryk af tekst og billeder er kun tilladt med kildeangivelse.