

Introduktion

En meteoroid är en liten partikel (typiskt mindre än 1 m) från en komet eller en asteroid. En meteoroid som träffar marken kallas meteorit.

Nattetid den 17 januari 2009 såg många i närheten av Östersjön ett lysande spår eller ett eldklot efter en meteoroid som föll genom jordens atmosfär. I Sverige filmades händelsen av en övervakningskamera, se Fig. 1.1(a). Med hjälp av dessa bilder samt utsagor från ögonvittnen kunde man lokalisera nedslagsområdet, och sex veckor senare hittades en meteorit med massan 0.025 kg i närheten av staden Maribo i södra Danmark. Mätningar på meteoriten, nu kallad Maribo, och av dess bana på himlen gav intressanta resultat. Farten vid nedslaget var exceptionellt hög. Dess ålder, 4.567×10^9 år, visade att den formats strax efter solsystemets födelse. Maribo-meteoriten är möjligen en smula av kometen Encke.

Maribos fart

Eldklotet rörde sig i västlig riktning, 285° relativt norr, i riktning mot den plats där meteoriten så småningom hittades, som indikerat i Fig. 1.1. Meteoriten hittades på ett avstånd av 195 km från övervakningskameran, i riktningen 230° relativt norr.

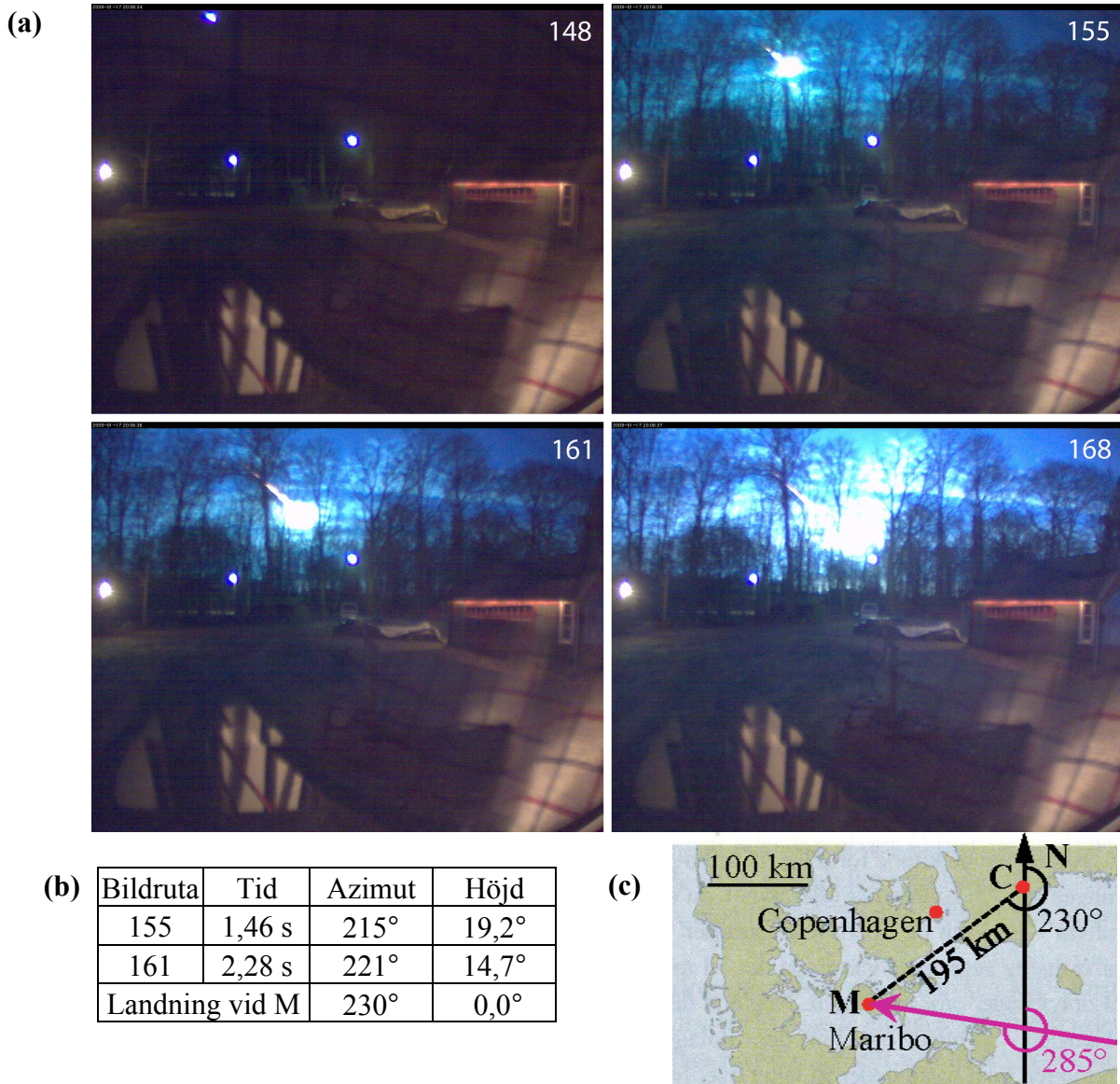
1.1	Använd detta samt data från Fig. 1.1, för att beräkna Maribos fart i tidsintervallet mellan bildruta 155 och 161. Jordens krökning kan försummas.	1,3
-----	---	-----

Smälter i atmosfären?

Luftmotståndet för en meteoroid som rör sig i den högre atmosfären beror på ett komplicerat sätt på meteoroidens form och fart, och på atmosfärens temperatur och densitet. I en rimlig approximation ges friktionskraften i övre atmosfären av uttrycket $F = k\rho_{\text{atm}}Av^2$, där k är en konstant, ρ_{atm} atmosfärens densitet, A meteoritens tvärsnittsarea och v dess fart.

Följande förenklande antaganden har gjorts för att kunna analysera meteoroiden: Objektet är vid inträdet i atmosfären en sfär med massa $m_M = 30$ kg, radie $R_M = 0.13$ m, temperatur $T_0 = 200$ K, och fart $v_M = 2.91 \times 10^4$ m/s. Atmosfärens densitet är konstant (satt till värdet 40 km över jordytan), $\rho_{\text{atm}} = 4.1 \times 10^{-3}$ kg/m³, och friktionskoefficienten är $k = 0.60$.

1.2a	Uppskatta hur lång tid efter meteoroidens inträde i atmosfären dess fart har minskat med 10 % från v_M till $0.90 v_M$. Försumma gravitationen. Antag att massan är konstant och att den sfäriska formen bibehålls.	0,7
1.2b	Beräkna hur många gånger större meteoroidens kinetiska energi E_{kin} är än den energi E_{melt} som behövs för att smälta den helt (se Datablad).	0,3



Figur 1.1 (a) Azimut är vinkelpositionen räknat medurs från norr i horisontalplanet, och höjd är vinkelpositionen över horisonten. En serie bildrutor tagna av övervakningskameran i Sverige, som visar Maribors rörelse som ett eldklot på sin väg ned genom atmosfären. (b) Data från två bildrutor som indikerar tid, riktning (azimut) i grader, sett från kameran (C), och höjden över horisonten i grader. (c) Skiss av riktningen hos Maribos bana (violett pil) i förhållande till norr (N), och landningsplatsen (M) i Danmark, sedd från kameran (C) i Sverige.

Upphettning av Maribo under fallet genom atmosfären

När den steniga meteoroiden Maribo kom in i atmosfären med överljudsart syntes den som ett eldklot eftersom den omgivande luften glödde. Trots detta värmdes endast Maribos yttersta skikt upp. Antag att Maribo är ett homogent klot med densitet ρ_{sm} , specifik värmekapacitet c_{sm} och värmeledningsförmåga k_{sm} (för värden, se Datablad). Vidare har Maribo temperaturen $T_0 = 200$ K, när den kommer in i atmosfären medan ytskiktet har konstant yttemperatur $T_s = 1000$ K pga friktionen mot luften, varför dess inre blir gradvis varmare.

Efter att ha fallit tiden t genom atmosfären, hade ett yttre skikt hos Maribo med tjockleken x upphettats till en betydligt högre temperatur än T_0 . Detta skikts tjocklek kan uppskattas med hjälp av dimensionsanalys genom att ansätta en produkt av termodynamiska storheter:

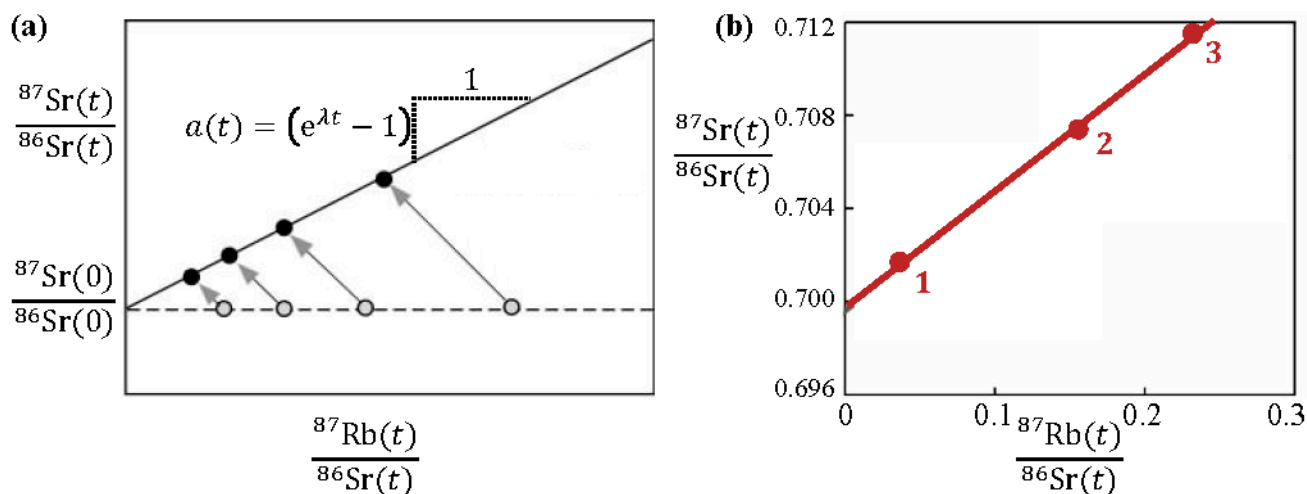
$$x \approx t^\alpha \rho_{\text{sm}}^\beta c_{\text{sm}}^\gamma k_{\text{sm}}^\delta.$$

1.3a	Bestäm med dimensionsanalys värdet på de fyra exponenterna α , β , γ , och δ .	0,6
1.3b	Beräkna tjockleken x efter att Maribo fallit $t = 5$ s, samt kvoten x/R_M .	0,4

Meteoritens ålder

De kemiska egenskaperna hos de radioaktiva isotoperna (moderkärnor) och deras sönderfallsprodukter (dotterkärnor) är olika. Därför kommer mineralen att få olika andelar av såväl moderkärnor som dotterkärnor. Detta faktum kan användas för att åldersbestämma meteoriter.

Ett konkret exempel är isotopen ^{87}Rb (grundämne nr. 37), som sönderfaller till den stabila isotopen ^{87}Sr (grundämne nr. 38) med halveringstiden $T_{1/2} = 4,9 \times 10^{10}$ år, i förhållande till den stabila isotopen ^{86}Sr . Vid bildandet av mineralen var kvoten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ lika för alla mineral, medan kvoten $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ var olika. Med tiden minskar mängden ^{87}Rb , medan mängden ^{87}Sr ökar, pga det radioaktiva sönderfallet. Således ändras kvoten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, allteftersom tiden går. I fig. 1.2(a), visar punkterna på den horisontella linjen kvoten $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ för olika mineral vid den tidpunkt de bildades.



Figur 1.2 (a) Kvoten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ för olika mineral vid tiden för bildandet $t = 0$ (ringar) och nutid (fyllda cirklar). **(b)** Isokronlinjen för tre olika mineral, från nutida mätningar på en meteorit.

1.4a	Skriv ner sönderfallsformeln för sönderfallet av $^{87}_{37}\text{Rb}$ till $^{87}_{38}\text{Sr}$.	0,3
1.4b	Visa att man får en rät linje (isokronlinjen) om man avsätter nutida värdet på kvoten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mot nutida värdet på kvoten $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ för olika mineralprover från samma meteorit, och att linjen har lutningen $a(t) = (e^{\lambda t} - 1)$. t är tiden sedan bildandet av mineralen och λ är sönderfallskonstanten, som är omvänt proportionell mot halveringstiden $T_{1/2}$.	0,7
1.4c	Bestäm meteoritens ålder τ_M med hjälp isokronlinjen i Fig. 1.2(b).	0,4

Kometen Encke; kanske Maribo kom därifrån

I sin bana runt solen är kometens minsta avstånd till solen $a_{\min} = 4,95 \times 10^{10}$ m, medan det största är $a_{\max} = 6,16 \times 10^{11}$ m.

1.5	Beräkna kometens omloppstid t_{Encke} .	0,6
-----	--	-----

Konsekvenser om en asteroid krockar med Jorden

För 65 miljoner år sedan träffades jorden av en stor asteroid med densiteten $\rho_{\text{ast}} = 3.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, radie $R_{\text{ast}} = 5 \text{ km}$, och slutfart $v_{\text{ast}} = 2.5 \times 10^4 \text{ m/s}$. Denna kollision utplånade mycket av livet på Jorden och Chicxulubkratern bildades. Antag att en identisk asteroid skulle träffa Jorden i dag i en helt inelastisk kollision. Antag vidare att Jordens tröghetsmoment är 0,83 gånger det för en homogen sfär med samma massa M och radie R , som ges av $\frac{2}{5}MR^2$. Försumma all påverkan på Jordens bana.

1.6a	Anta att asteroiden träffar nordpolen. Bestäm största möjliga ändring i jordaxelns riktning efter kollisionen.	0,7
1.6b	Anta att asteroiden träffar ekvatorn i en radiell kollision. Bestäm ändringen $\Delta\tau_{\text{vrt}}$ i Jordens rotationstid efter kollisionen.	0,7
1.6c	Anta att asteroiden träffar ekvatorn i en tangentiell kollision. Bestäm största möjliga ändring $\Delta\tau_{\text{tan}}$ i Jordens rotationstid efter kollisionen.	0,7

Största kollisionsfart

Betrakta en himlakropp som är bunden i solsystemet och som träffar jordytan med farten v_{imp} . Initialt kan inverkan av Jordens tyngdkraftfält försummas. Bortse från friktionen i atmosfären, effekten av andra himlakroppar och Jordens rotation.

1.7	Beräkna $v_{\text{imp}}^{\max}$, det största möjliga värdet på v_{imp} .	1,6
-----	--	-----