

Asteroider, meteoritter og Bering

René Michelsen, *Astronomisk Observatorium, NBIfAFG*, John Leif Jørgensen, *Ørsted*DTU*, Henning Haack, *Geologisk Museum*, Anja Andersen, *Astronomisk Observatorium, NBIfAFG*.

Indledning

En af de største tilbageværende hvide pletter i vores Sol-system er Asteroidebæltet. Asteroidebæltet danner bro mellem de jordlignende planeter i det indre Sol-system og de store primitive gasplaneter i det ydre Sol-system. Ud af de i øjeblikket 130.000 kendte asteroider har kun én været hovedmålet for en rumsonde (NEAR til Eros) og kun 3 andre er studeret af forbipasserende sonder på vej til andre mål.

Asteroider er yderst interessante objekter. Dels er de meget forskelligartede, dels har de en meget spændende dynamisk historie. Men samtidig er mange af de tilbageværende asteroider for små eller for sent udviklede til at producere tilstrækkeligt med varme til at sætte gang i en geologisk udvikling. De indeholder derfor stadig materiale fra Sol-systemets oprindelse i uændret form. Meteoritter fra disse asteroider tillader os at bestemme Sol-systemets alder og studere detaljer i Sol-systemets allertidligste voldsomme udvikling hvor gas blev til støv og senere planeter.

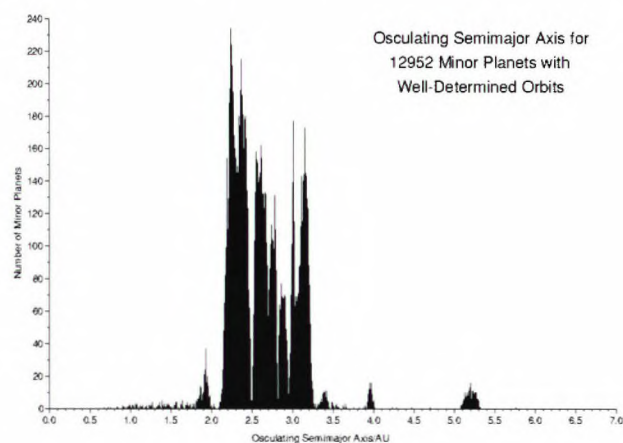
I det følgende vil vi præsentere et forslag til en dansk satellit-mission til asteroidebæltet. På denne måde vil vi kunne bidrage med en mængde ny information og være med til at afdække denne hvide plet. Vi har valgt at kalde satellitten Bering, efter den danske opdagelsesrejsende Vitus Bering. Danmark står i en meget stærk position til netop dette projekt, som i sit design tager udgangspunkt i dansk udviklet teknologi. Takket være erfaringen fra Danmarks første satellit, Ørsted og den store kompetance opnået som følge af Danmarks success som rumnation, vil det være muligt at bygge Bering som et rent dansk projekt. Ud over at være videnskabeligt og teknologisk nyskabende udmærker projektet sig også ved at være relativt billigt, hvilket er et sjældent syn inden for rumforskning, og nærmest uhørt for interplanetariske missioner af den art.

Asteroiders dynamik

Siden den første januar 1801, hvor asteroiden Ceres blev opdaget af Giuseppe Piazzi i Palermo, er der fundet over 130.000 asteroider, heraf dog kun ca. 30.000 i så velbestemte baner. Trods det store antal asteroider er den totale masse kun omkring 2.3×10^{21} Kg, eller ca. 0.04% af Jordens masse.

Netop asteroiders små masser i forhold til planeternes masser, gør at de er meget dynamisk aktive, dvs. der kan optræde store ændringer i deres baner på relativt korte tidsskalaer, typisk mellem nogle hundrede og nogle millioner år. En meget vigtig årsag til dette er de såkaldte resonanser i middelbevægelsen

mellem en asteroide og f.eks. Jupiter, som er et heltals-forhold mellem omløbsperioderne af planeterne. Eksempelvis betyder 3/1 resonansen at for hver eneste omgang Jupiter kredser omkring Solen, har asteroiden kredset 3 gange rundt om Solen. Disse resonanser sætter et meget stærkt præg på den dynamiske fordeling af asteroider i asteroidebæltet, se figur 1.



Figur 1. Oversigt over fordelingen af asteroider i asteroidebæltet. Asteroidernes halve storakse i forhold til Solen ses langs x-aksen, medens antallet af asteroider ses langs y-aksen. Figuren er fra Minor Planet Center, <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>

Man kan umiddelbart se 3 store huller i asteroidebæltet, nemlig for 3/1 resonancen ved 2.50 au, 5/2 resonansen ved 2.82 au, samt 7/3 resonansen ved 2.96 au. Disse huller kaldes under et for Kirkwood-gabene. Omvendt findes der også resonanser som holder asteroiderne fast i bestemte baner, hvilket også kan ses tydeligt på figur 1. Gruppen af asteroider kaldet Hilda-asteroider i 3/2 resonansen ved 3.97 au, samt Trojanerne i resonansen 1/1 ved 5.20 au. Trojanerne er rent faktisk to grupper af asteroider låst fast i Jupiters Lagrange-punkter.

Kirkwood-gabene er opstået, fordi at asteroider der befinder sig i de omtalte resonanser har nogle stærkt kaotiske baner, som vil undergå voldsomme ændringer i eccentriciteten, og dermed vil asteroiderne krydse Mars-banen, og evt. Jordens bane, hvorpå asteroiderne kan vekselvirke, evt. kolliderer, med disse planeter, og dermed forsvinde fra resonans-områderne.

Nylige studier har vist at dynamikken af asteroider i asteroidebæltet er stærkt domineret af et utal resonanser med både Jorden, Mars, Jupiter, Saturn og Uranus, som dog ikke sætter samme tydelige fingertryk som resonanserne beskrevet oven for. Denne type undersøgelser

Type	Karakteristika
C	Almindelige i den ydre del af bæltet - tilsyneladende relateret til CI og CM kulkondritter.
D	Dominerer uden for 3.25 AU. Rødlige, ingen meteoritanaloger.
P	Almindelige nær yderkanten af hovedbæltet. Ingen meteoritanaloger.
T	Sjældne og af ukendt sammensætning. Måske omdannede kulkondritter.
K	Mulige moderlegemer for CV og CO type kulkondritter.
A	Sjælden type med rødtligt spektrum. Indeholder olivin. Muligt moderlegeme for brachinitter.
M	Almindelige i hovedbæltet. Består formentlig af FeNi metal.
Q	Kun tre kendte asteroider. Spektrene ligner de almindelige kondritter.
R	Kun en kendt, 349 Dembovska. Består af olivin, pyroxen og FeNi metal.
S	Meget almindelige i den indre del af bæltet. Indeholder metal, olivin og pyroxen.
V	Vesta og nogle få relaterede asteroider er de eneste kendte V-typer. Rige på pyroxen.
E	Sjælden type, der måske er relateret til enstatit kondritter.

Oversigt over forskellige typer asteroider ordnet efter albedo. De øverste har en albedo på under 0.1 de nederste på over 0.3.

er vigtige, da de vil kunne give en rent dynamisk vurdering af antallet af kollisioner med Jorden, men netop fordi dynamikken er meget kompliceret kræver det omhyggelige undersøgelser for at nå så vidt.

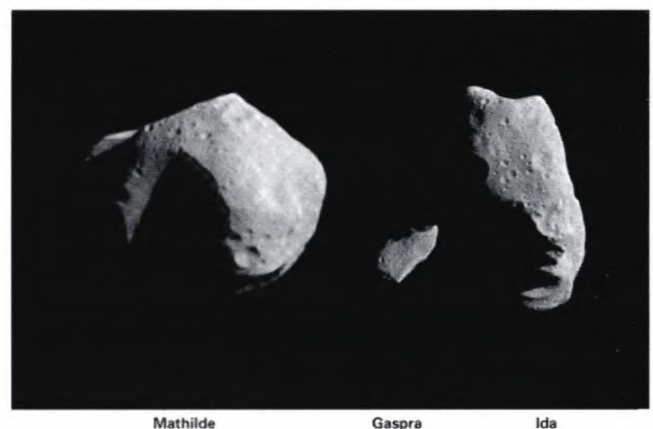
Jordnære asteroider

En gruppe af asteroider der studeres flittigt er asteroider med baner der fører dem meget tæt på Jorden, med fare for kollision, de såkaldte "Near-Earth Asteroids", NEA. En asteroide er en NEA hvis dens mindste afstand til Solen er mindre end 1.3 au.

At objekter har kollideret med Jorden vidner både kratere på jordoverfladen, og meteoritfund om. Spørgsmålet er imidlertid hvor hyppigt disse kollisioner finder sted i dag, og hvilke konsekvenser det vil have hvis en sådan kollision finder sted. For at besvare disse spørgsmål er der iværksat meget intense eftersøgningsprogrammer efter jordnære asteroider, for at få et begreb om hvor mange der findes. Disse eftersøgninger har bidraget med enorme opdagelseshastigheder, for tiden bliver der opdaget mellem 2000 og 3000 asteroider om måneden, hvoraf ca. 30 er NEAer. Umidledbart er det dog kun relativt klare objekter man finder, dvs. fortrinsvist store asteroider, større end 1 km. Man forventer at der findes langt flere mindre NEAer, som måske ikke lige frem truer med at slette al liv på Jorden, men som kan forårsage skader af betydeligt omfang.

Det er endnu for tidligt at sige noget om hvorvidt der rent faktisk er grund til at bekymre sig om faren for sammenstød. Man kan måske mene at muligheden for et sammenstød synes meget ringe, sammenlignet med de andre farer man udsætter sig for, men rent faktisk er kendskabet til de jordnære asteroider endnu ufuldstændigt. For at forstå de dynamiske mekanismer bag de jordnære asteroider, er det nødvendigt at forstå de dynamiske mekanismer i hele Solsystemet, og de er som nævnt præget af kaotiske og resonante fænomener med høj kompleksitet. Det er derfor svært at give nogle præcise bud på hyppigheden af kollisioner med Jorden, samt de konsekvenser det måtte have for Jorden

og dens biologiske population. Set i det perspektiv er der rent faktisk grund til at tage problematikken med jordnære asteroider alvorligt, alene ud fra det motiv at få afdækket den reelle risiko.



Figur 2. De tre asteroider, der hidtil er studeret i forbindelse med flybys af sonder på vej til andre mål. Mathilde er en såkaldt C-type asteroide, der blev fotograferet af NEAR sonden på vej til Eros. Gaspra og Ida var de to første asteroider der blev fotograferet i 1991 og 1993 af Galileo sonden på vej til Jupiter. De er begge to S-type asteroider ligesom Eros. Ida var særlig interessant da det viste sig at den havde en satellit, Dactyl. Mathilde er i virkeligheden langt mørkere end Gaspra og Ida. De tre asteroider er vist i samme skala. Gaspra måler ca. 12 km på den lange led.

Ud over måske at udgøre en trussel for Jorden, så er NEAer spændende objekter at studere, dels fordi deres nærhed til Jorden afslører en meget spændende dynamik for småplaneter i Solsystemet, men ikke mindst fordi de eventuelt vil kunne samles op fra jordoverfladen som meteoritter. Da man har mulighed for intense laboratoriestudier af den geologiske sammensætning af meteoritter, hvorimod de tilsvarende detaljerede undersøgelser af NEAer endnu kræver kostbare rumsonder, har man ved studiet af meteoritter mulighed for at få information om den geologiske sammensætning af objekter i Solsystemet, samt udvikle viden om Solsy-

stemets dannelse. Der er derfor i sagens natur en klar interesse i et tæt samarbejde mellem forskere der studerer meteoritter, og forskere der studerer asteroider og dannelse af planetsystemer.

Boks 1. Meteoritter :

Meteoritter er små fragmenter af ca. 130 forskellige asteroider, Månen og Mars. De asteroider vi har fragmenter af, er vidt forskellige lige fra meget primitive legemer, der aldrig har været opvarmet, til legemer der har været nær total opsmeltning.

En meteorit der stammer fra et legeme der ikke har været opsmeltet nævneværdigt (dvs. højst opvarmet til 400 K under Solsystemets dannelse) kaldes for en primitiv meteorit; til denne gruppe hører kulkondritterne. De indeholder således primitivt materiale fra Solsystemets allertidligste faser - længe inden der var kometer, asteroider og planeter.

En meteorit kaldes for højt udviklet hvis den kommer fra en asteroide der har været udsat for meget høj opvarmning (< 1000 K). Ordvalget skyldes at den høje opvarmning har delvist opsmeltet asteroiden og opdelt den i kerne, kappe og skorpe.

En udviklet asteroide der bliver slået i stykker vil kunne levere mange typer af vidt forskellige meteoritter; (1) Jern-meteoritter der er stykker af en asteroides jern-nikkel kerne. (2) Sten-jern meteoritter der bl.a. stammer fra overgangen mellem jern-nikkel kernen og silikat kappen. (3) Sten-meteoritter der stammer fra kappen.

Taksonomisk klassifikation

Ved at bestemme spektre af det reflekterede sollys fra asteroider kan man bestemme mineralsammensætningen af deres overflader, og dermed hvilken type asteroider der er tale om. På denne måde har man inddelt asteroiderne i 12 taksonomiske klasser, se tabel 1 Eksempelvis er asteroiderne Ceres og Mathilde klassificerede som C-typer (se figur 2).

Opdelingen mellem de enkelte klasser er naturligvis ikke altid skarp, men snarere glidende, og de nævnte 12 grupper er derfor hovedgrupper for den taksonomiske klassifikation. Der findes derudover forskellige undergrupper, som er indført når ingen af de enkelte hovedgrupper synes at være fuldt dækkende.

Hvad hovedtyperne af asteroider dækker over, kan man forsøge at afklare ved at sammenligne med spektre af meteoritter opnået i laboratorier på Jorden.

Meteoritter

På nær enkelte meteoritter fra Månen og Mars kommer de fleste meteoritter fra asteroiderne. Ligesom as-

teroiderne spænder meteoritterne fra de meget primitive kulkondritter til højt udviklede differentierede typer såsom jernmeteoritter (stumper af en asteroides metal-kerne) og akondritter fra kappe og skorpe af differentierede asteroider. Ved at se på kemisk sammensætning, isotopsammensætning og mineralogi af de ca. 30.000 kendte meteoritter kan man inddele dem i ca. 130 grupper hvor hver gruppe antages at komme fra et moderlegeme. Antallet af meteoritter i hver gruppe varierer fra ca. 10.000 i den største gruppe og helt ned til én.

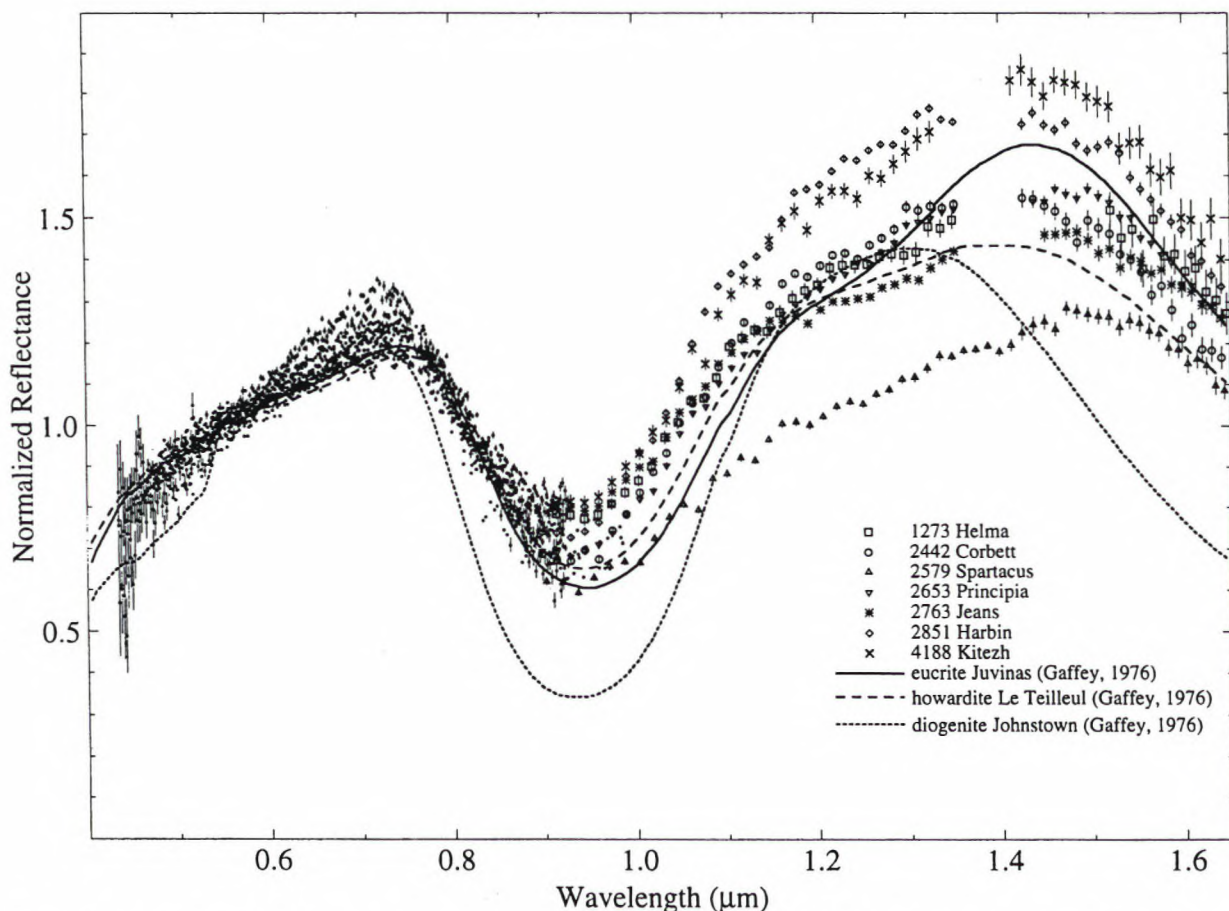
Boks 2. Differentieret planetlegeme :

De mindre planetlegemer i Solsystemet (indtil 10 km i diameter) har aldrig været særlig varme. Opvarmningen af Solsystemets mindste legemer skyldes formentlig henfald af kortlivede, radioaktive isotoper, især Al^{26} . Et lille legeme udsender imidlertid denne varmeenergi næsten lige så hurtigt, som den dannes. Legemer, som hurtigt byggedes op til mere end 20-30 km i diameter, kunne pga. et relativt lille varmetab ved udsendelse, imidlertid nå op på smeltetemperaturer for stenmateriale^a. Det skyldes at varmeproduktionen især bestemmes af rumfanget, nemlig af indholdet af radioaktive isotoper, mens varmetabet bestemmes af overfladearealet. Det betyder at de store legemer har været selvopvedende! Under smeltningen synker nikkel og jern mod planetens kerne, mens silikaterne lejr sig overpå som en kappe, hulrummene forsvinder og hele planeten skrumper betydeligt i rumfang. En anden og måske endnu vigtigere faktor er tiden. Al^{26} har en kort halveringstid og kan derfor have været udbrændt inden de sidste asteroider blev dannet i den ydre del af asteroidebæltet. Det kan være en forklaring på at de primitive asteroider tilsyneladende dominerer derude.

^aRumfanget vokser med radius i tredje potens, men overfladen vokser kun med radius i anden.

Ved at sammenligne spektre af meteoritter med spektre fra asteroider forsøges det at finde frem til de asteroider, der er moderlegemer for de enkelte grupper af meteoritter. Det har vist sig at være meget vanskeligt. Det eneste tilfælde hvor man mener at kunne kæde meteoritter og moderlegemer sammen er HED meteoritterne og Vesta, se figur 3. I nogen tilfælde kan det selvfølgelig skyldes at asteroiden er blevet totalt knust ved en kollision. Når vi f.eks. har stumper af en asteroides jernkerne på jorden så er der nok ikke meget tilbage af selve asteroiden. En anden væsentlig grund menes at være at asteroidernes overflader bombarderes med partikelstråling, hvilket kan ændre deres spektrale signatur.

En meget væsentlig opgave for en asteroide-mission



Figur 3. Spektre af asteroider fra Vesta-familien (symbolerne), sammenlignet med 3 forskellige meteorit-spektre (kurverne). Længs x-aksen ses bølgelængden, i dette tilfælde går spektrene fra det synlige til de nær-infrarøde område. Længs y-aksen vises den normerede flux (i asteroide-sprog kaldet reflektans). Fra Burbine et al. (2001), Vesta, Vestoids, and the howardite, eucrite, diogenite group: Relationships and the origin of spectral differences. *Meteoritics and Planetary Science* 36, 761- 782.

er derfor at opnå en bedre forståelse af sammenhængen mellem meteoritter og asteroider. Meteoritterne giver os mulighed for detaljerede petrologiske studier, uden kendskab til den regionale geologi. Omvendt giver asteroiderne os mulighed for at studere den regionale geologi uden at give os adgang til detaljerede studier.

Bering, den første Europæiske Deep Space mission

En af de største udfordringer indenfor udviklingen af videnskabelige rumfartøjer er, at sikre et stadigt større udbytte i form af nye, mere avancerede og nøjagtige målinger samtidig med at udgifterne ikke må løbe løbsk.

Dette mål kan kun opnås ved til stadighed at udvikle nye måleprincipper for instrumenter, samt at gøre rumfartøjerne mere og mere selvstændige, således at driftomkostningerne minimeres. Ørsted satellitten koster f.eks. kun omkring 1% af udviklings- og opsendelses-omkostningerne per år, medens NASAs Voyager missioner har kostet mere end 11% per år.

Berings fuldautomatiske instrumenter muliggør faktisk en næsten fuldautomatisk mission hvad angår daglig pasning. Dette er ekstra vigtigt når det drejer

som om en Deep Space mission, der med sin lange flyvetur fra jorden til målet, Asteroidebæltet, ellers kunne blive meget bekostelig at operere.

På grund af de fuldautomatiske instrumenter vil Bering, som den første sonde nogensinde, være i stand til at detektere, karakterisere og fotografere små ukendte asteroider i Solsystemet. Tidligere missioner har været sendt ud til allerede kendte asteroider og har desuden være slukket i cruisefasen. Man har derfor kun ringe kendskab til tætheden og arten af de små legemer i asteroidebæltet. Resultaterne fra Bering missionen vil kunne give os en bedre forståelse for asteroidebæltets struktur og udvikling.

Stjernekameraerne

Bering er forsynet med seks stjernekameraer der, mens rumfartøjet langsomt spinner om sin symmetriakse (1°/sek), afsøger stjernehimmelen for asteroider: Stjernekameraernes computere beregner konstant fartøjets orientering i rummet, baseret på de billeder af stjernehimmelen som kameraerne tager. Stjernekameraerne sammenligner de optagne billeder med deres medbragte kataloger, der rummer de 20.000 stærkeste

stjerner. Ved sammenligningen vil samtlige lysende objekter i billederne, som ikke er stjerner, blive opdaget. Mange af disse objekter er galakser, nebulae, etc., men nogle vil være asteroider. I modsætning til galakser etc. vil asteroiderne flytte sig i forhold til baggrunden. Og da stjernekameraerne holder log med samtlige lysende, ikke-stellare objekter, vil asteroider, der nærmer sig, hurtigt blive detekteret og fulgt. Stjernekameraerne, der er en videreudvikling af Ørsted satellittens kamera, er helt afgørende for missionen. Hvis de ikke helt automatisk kunne detektere en asteroide, som nærmer sig, ville stjernebilledet først skulle sendes til jorden, der typisk befinder sig 400 mio. km væk, hvilket svarer til 20 lys-minutter, hver vej. Så selvom jordstationen, ideelt set, kunne svare tilbage øjeblikkeligt, ville man være langt forbi asteroiden, førend beskeden om at filme den var nået tilbage. Dette forhold er en af hovedårsagerne til at vi ved så lidt om asteroiderne, som tilfældet er.

Boks 3. Center for PlanETForskning :



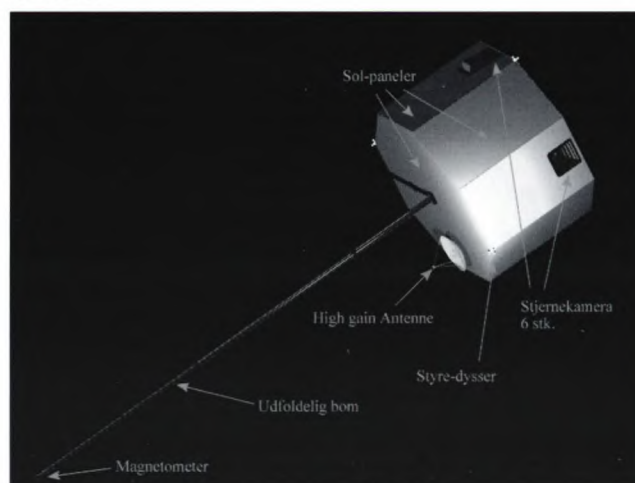
I Februar i år flyttede en gruppe forskere fra Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik (NBIfAFG) sammen med en gruppe forskere fra Dansk Rumforsknings Institut (DSRI) ind i Center for PlanETForskning. Planetcenteret er rent fysisk placeret i en bygning der ligger lige ved siden af Rockefeller-komplekset i København hvor astronomerne, geofysikerne og DSRI har til huse. Ideen med centeret er at styrke forskningen i emner relateret til Solsystemet, samt give bedre muligheder for studerende ved NBIfAFG at specialisere sig inden for dette felt. Gruppen bag centeret er meget tværfaglig med kompetance i disciplinerne: Astronomi, geofysik, fysik, rum-baserede instrumenter, geologi og biologi. Den her beskrevne Bering mission er et eksempel på et konkret resultat, opstået af at folk med forskellig faglig baggrund, men med en brændende interesse for samme emne, mødes. Læs mere om planetcenteret på <http://www.planetcenter.dk>.

Teleskopet

Hjertet i Berings instrumentpark er en miniature multispektral imager, dvs. et teleskop med et tilhørende mange-farvebånds-kamera som skal levere højopløsnings farvebilleder af asteroiderne. Som det

ses på principskiten af instrumentet på Kvants forside, planlægges der for tiden seks farvebånd fra 2200 nm (infrarød) til 350 nm (nære UV). Imageren skal tage nærbilleder af de asteroider som Bering flyver forbi. Det store foldningsspejl foran teleskopets åbning skal sikre at bevægeuskarphed ikke ødelægger billederne, når en asteroide forbiflyves med op til 5 km/sek. Spejlet, der er forholdsvis let, kan langt lettere drejes for at følge asteroiden, end hele satellitten.

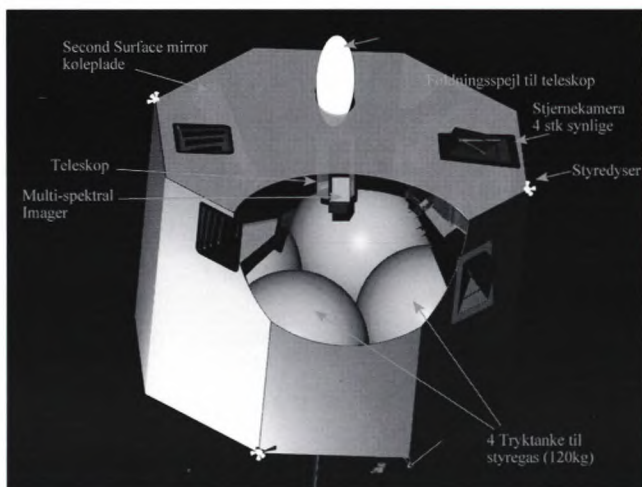
Den lille, men kraftige laser, som ses midt i teleskopet, anvendes sammen med en infrarød detektor til at måle afstanden til asteroiden. Laseren sender en kortvarig kraftig lys-puls ud, samtidig med at en tæller startes, laserpulsens reflekteres fra asteroidens overflade og tælleren stoppes når detektoren måler at pulsen returnerer.



Figur 4. På billedet ses "Bering's" karakteristiske facon, som er dikteret af tre faktorer: 1) Rumfartøjet skal rotere langsomt for at kunne scanne hele himmelhvælvet; Rotations symmetri. 2) Sollyset er 6 gange svagere ude i asteroide bæltet end her ved jorden, så der skal solpaneler på alle flader der vender indad i solsystemet. 3) Rumfartøjets elektriske kredsløb vil forstyrre magnetfeltet tæt ved. Magnetometeret kræver derfor en lang bom.

Magnetometer-bommen

På computertegningen af rumskibet ses den 6 m lange magnetometerbom udfoldet. Formålet med magnetometeret på den lange bom er at lave en magnetisk profil af de asteroider som man kommer rigtigt tæt på. Magnetometeret er placeret på den lange bom for at komme væk fra forstyrrelserne fra selve satellitten. I Deep Space er magnetfeltet meget svagt, typisk 1-10 nT, men asteroider specielt med jernkerner vil kunne detekteres i anseelig afstand. Asteroidernes magnetiske signatur er en af de vigtigste klassifikationsparametre ved siden af spektralmålingerne. NASAs "NEAR" mission medbragte således et meget følsomt magnetometer, der desværre ikke gav brugbare resultater, på grund af forstyrrelser fra satellitten.



Figur 5. Forskerne ønsker at kunne flyve tæt forbi forlods udvalgte asteroider, samt at kunne nærme sig interessante "nye fund" for at få bedre billeder. Sådanne manøvrer fordrer et kraftigt styregas system, der, som det ses på billedet, optager langt størstedelen af rumfartøjets inde.

Rumskibet

De otte sidepaneler og bunden er dækket af solpanelerne der leverer elektrisk energi til batterier og elektronik ombord. Toppen er derimod dækket af en speciel belægning, et såkaldt Second Surface Mirror (SSM), der virker som køleplade for de infrarøde kameraer i den multispektrale imager. Da de bølgelængder, som imageren skal måle, ligger tæt på og i varmestrålingsbåndet, er det nødvendigt at køle detektorerne i kameraerne ned til 80-100K, for at sikre et rimeligt signal/støj forhold. En SSM overflade bliver typisk lavet ved at et panel på satellitten påføres en film af Kapton-tape. Kapton tapen er overfladebehandlet med et 5 μm aluminiumsspejl, som igen er dækket af et 20 μm kvartslag. Solens lys går gennem kvartslaget og reflekteres fra aluminiumsspejlet, præcis som et almindeligt spejl. Herved sikres at uanset om solen skinner på overfladen eller ej, så optages der ikke meget varme. Kvartslaget er derimod ikke gennemskinneligt for varmestråling. Men da kvarts er en rimelig varmeleder, ledes varmen fra panelet, gennem det tynde kapton, aluminiums- og kvarts-lag til overfladen, hvorfra den udstråles til rummet. Herved opnås en af de "koldeste" belægninger der kendes.

Strømforsyning og kontakt med Jorden

Bering er en forholdsvis stor satellit, ca. 1.2 m på hver led med bommen foldet i opsendelseskonfiguration. Denne størrelse er ikke så meget dikteret af instrumenter og udstyr, som af kravet om tilstrækkeligt elektrisk energi. Ved Jorden kan Berings solpaneler levere mere end 300 W elektrisk energi; men når den når

frem til Asteroidebæltet, er sollyset 5-6 gange svagere, så her er der kun 45W til rådighed, netop her hvor distancen til Jorden er størst, og der derfor behøves mest energi til radioforbindelsen.

Ud over at virke som attitude-instrument og asteroidedetektorer, leverer stjernekameraerne også en anden vigtig måling. Ved at detektere og følge kendte himmellegemer, kan stjernekameraerne beregne en rimeligt nøjagtig position af rumfartøjet. Denne position, og Jordens øjeblikkelige position som let beregnes, bruges nu til at finde retningen fra Bering til Jorden, således at den lille men meget retningsfølsomme antenne kan peges direkte mod Jorden. Også denne funktion er helt automatisk.

Denne sidste funktion er faktisk det, som sikrer de største besparelser for missionen, samtidig med at den også betyder en meget stor sikkerhed for succes: Normalt skulle et rumfartøj som Bering have en meget stor antenne med en meget kraftig sender og en følsom modtager, for at kunne finde Jorden igen, hvis den var kommet lidt ud af orientering. Det ville også være nødvendigt at sende et "homing" signal fra Jorden, næsten konstant, for at antennen ikke skulle dreje for langt væk. Endelig, hvis rumfartøjet bliver ramt af noget rumgrus, som det må forventes at ske i Asteroidebæltet, så kan en sådan hændelse blive fatal, hvis ikke radioforbindelsen kan genetableres. Med Berings navigationsmodul, og med noget intelligent software til at styre instrumenterne ombord, vil Bering kunne klare sig selv en stor del af tiden, da der hverken kræves konstant overvågning, antenne-følgning fra Jorden eller kraftige sendere på Jorden. Bering skal blot kommanderes til at starte transmissionen af data på et for jordstationen gunstigt tidspunkt. Dette skiller sig markant ud fra hidtidige deep space missioner, og hverken NASA eller ESA mestrer (endnu) denne teknologi!



Artiklens forfattere (fra venstre:) John Leif Jørgensen, Anja Andersen, René Michelsen og Henning Haack.