

Bering – en lille rumsonde med et stort navn

Danmarks første deep-space mission

John Leif Jørgensen, Ørsted•DTU, Anja C. Andersen, NBI/AFG, Henning Haack, Geologisk Museum, René Michelsen, NBI/AFG.

Danskeren Vitus Bering var en af verdens store opdagelsesrejsende. Bering opdagede i 1728, at Asien og Amerika er adskilte kontinenter, og i 1741 kortlagde han som den første Alaskas vestkyst. Hvor Columbus bandt verden sammen mod vest, gjorde Bering det mod øst.

Lige som Vitus Bering er det vores ambition at rumsonden der bærer hans navn skal udforske nye områder som de fleste for få år siden ville mene var uden for rækkevidde af en dansk bygget satellit – nemlig en tur ud til asteroidebæltet der ligger mellem planeterne Mars og Jupiter. Vi står lige nu i den enestående situation at vi rent teknisk er de eneste i verden der kan gennemføre en sådan mission til en meget billig penge.

Asteroidebæltet er trods dets relative nærhed til Jorden en ret udforsket del af vores Solsystem. De fleste sonder der har været sendt fra Jorden og ud gennem Solsystemet har passeret asteroidebæltet med instrumenterne slukket og vi har derfor kun sparsom viden fra nogle ganske få missioner.

Asteroidebæltet strækker sig fra ca. 2 til 5 astronomiske enheder¹ fra Solen. Den største asteroide vi kender er Ceres der har en diameter på knap 1000 km. Hvor mange asteroider der findes i asteroidebæltet er helt ukendt, idet det afhænger af hvor mange små objekter der er. Man forventer at der er sket en vis sorteringseffekt fra asteroidebæltet således at de mindste sten er blevet rensat ud. Men hvor dette cutoff evt. ligger er der stor uenighed om. Generelt forventer man at mængden af asteroider følger en eksponentiel funktion (se figur 1), dvs. at objekter med en størrelse på omkring 1 km må være meget hyppige. Ud fra de nuværende observationer er der ingen mulighed for at sige noget om hvorvidt cutoff f.eks. ligger over eller under 10 m. Til dato kender man ingen asteroider i asteroidebæltet der er mindre end et par kilometer.

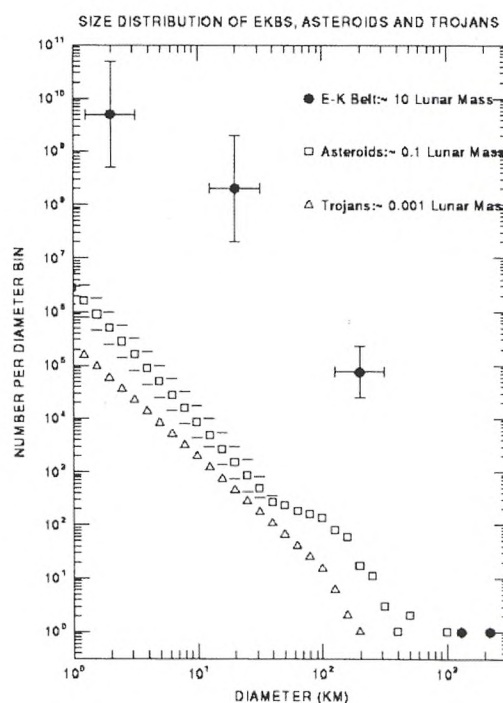
Små asteroider

En kortlægning af de små asteroider vil give os indsigt i deres dynamik og dette er vigtigt af tre grunde:

- Banerne af små objekter bliver lettere perturbet, hvilket giver en kortere levetid for de små objekter før de ender deres dage ved at flyve ind i Solen eller blive smidt helt ud af solsystemet.
- Til forskel fra de store asteroider vil de små formentlig ikke være dækket af et tykt støvlag og deres

overflader vil derfor være blottede så vi kan afgøre hvilke mineraler de består af.

- Nogle af de små asteroider stammer fra de samme kilder som meteoritterne.



Figur 1. Størrelsesfordelingen af asteroider i asteroidebæltet (åbne firkanter) og fra jordbaserede observationer. Det store spørgsmål som Bering kan besvare er hvordan fordelingen ser ud for de små asteroider. (Figur fra [1].)

Information om deres banefordelinger sammenholdt med deres spektrale karakteristika vil derfor give nye bånd på sammenhængen mellem asteroider og meteoritter. Desuden vil en bestemmelse af hyppigheden af de små asteroider give en meget bedre alderbestemmelse af planeters og måners overflader. F.eks. ud fra en vurdering af antallet af kratere på Mars' nordlige halvkugle har man vurderet at der har været kraftige lavastrømme for mindre end 10 millioner år siden. Hvis man har mulighed for at bestemme tidspunktet for lavastrømmene bedre vil det give ny indsigt i Mars' klimatiske og geologiske udvikling.

Hvis en lille asteroide tidligere har været del

¹En astronomisk enhed (AU) er middelfaststanden mellem Jorden til Solen.

af et større legeme der besad et indre magnetfelt, ligesom Jorden, vil der stadig findes et permanent felt, formentlig i form af et simpelt dipolfelt, i asteroiden. Et sådant felt vil vekselvirke med solvinden og dermed resultere i forskellige magnetohydrodynamiske fænomener, der vil kunne måles. Hvis asteroiden er en "grusbunke" bestående af små magnetiserede stykker, vil det samlede magnetfelt være anderledes end hvis der er tale om en sten, der ikke besidder noget permanent magnetfelt. En bestemmelse af en asteroides magnetfelt vil derfor give viden om asteroidens porøsitet og mineral sammensætning og dermed et bud på massen. Kun en asteroide har tidligere fået målt sit magnetfelt og det var da rumsonden Gallileo på sin vej mod Jupiter målte magnetfeltet af asteroiden Gaspra [2].

Ud over at kendskab til en asteroides porøsitet vil give os indsigt i mulige dannelses senarier for asteroiden, så er det også nødvendigt at kende porøsiteten for at kunne vurdere faren for at en asteroide rammer Jorden. En fast klippe vil formentlig opføre sig anderledes under et sammenstød med en planet-atmosfære end en "bunke grus".

Store asteroider

Kilometer-store objekter er store nok til at repræsentere en reel fare, men stadig små nok til at det stort set er umuligt at finde dem med kikkerter fra Jorden. Selvom de ikke er det egentlige mål for Bering missionen forventer vi at Bering vil opdage 5 – 10 af disse store asteroider per år. Nogle af disse forventes at være tæt nok på Bering fartøjet til at det er muligt at lave flerfarve fotometri på objektet. Dette vil give information om den taksonomiske klassifikation af asteroiden (dvs. hvilken type det er og hvilke mineraler den består af, se [3] side 17). Desuden vil der kunne observeres lyskurver fra asteroiden, hvilket vil kunne bruges til at bestemme rotationsperioden for objektet, idet det vil afsløre lysvariationer som funktion af tiden. Endelig må man ikke glemme at der er et væld af information i et overfladebillede i flere farver, det tjerner til mere end blot at levere gode presse billeder. Ud fra et sådant billede vil mængden af kratere og deres størrelse, form og struktur kunne bestemmes. Kratere vil evt. kunne løfte sløret for hvor tykt et støvlag asteroiden er dækket af og afsløre dybere liggende mineraler.

På nogle af de store objekter har vi planer om at skyde et lille magnetometer afsted mod asteroiden. Ved at følge magnetometeres bane med Berings teleskop vil vi kunne bestemme afbøjningen af magnetometeres bane efterhånden som det bliver fanget ind i asteroidens tyngdefelt. Derudover vil vi få endnu mere information om asteroidens magnetfelt end vi kan opnå fra det magnetometer der er placeret på en bom på selve rumsonden. Da vi også vil kende den præcise afstand fra Bering til asteroiden vil vi have størrelsesparametrene for asteroiden bestemt med stor nøjagtighed.

Måleprincipperne

Teleskopet på Bering har en åbningsvinkel på $0,5^\circ$, hvilket betyder, at et billede fra teleskopet dækker under 1/200.000 del af himmelen. Chancen for at teleskopet netop skulle detektere en forbiflyvende asteroide er derfor meget lille. Stjernekameraene derimod, dækker hver ca. 1/100 af firmamentet, og på grund af Berings langsomme rotation, vil de effektivt afsøge næsten hele himmelbuen en gang i timen, hvorfor alle større asteroider vil blive detekteret. Det er altså helt essentielt for missionen, at stjernekameraene kan finde asteroiderne, så teleskopet herefter kan rettes mod dem.

Stjernekameraenes store billedfelt sætter desværre en grænse for hvor lyssvage objekter der kan følges. Når Bering er længst væk fra solen, 3,7 AU, vil en 10 km asteroide således "kun" kunne detekteres 6 – 7 millioner km væk, mens det samme objekt kan ses mere end 20 millioner km væk her ved jorden.

Teleskopet derimod, kan følge objekterne langt længere væk, når de først er opdaget. Lidt afhængig af hvordan banen for asteroiden ligger, dvs. hvilken belysning (fase) den har, når den er længst væk, vil teleskopet kunne følge den 4 – 6 gange længere væk end stjernekameraet kan. Det er vigtigt at kunne følge asteroiderne så længe, at en sikker bestemmelse af deres baneparametre kan opnås.

Figuren på Kvants bagside viser detektions- og tracking-zonen omkring rumskibet. Figuren illustrerer også et problem som er fælles for alle "enøjede" måleinstrumenter, aperturproblemet: Et lille objekt er alt andet lige mindre lysstærkt end et stort. Ved en forbiflyvning, er det ikke muligt at afgøre om der er tale om et stort objekt der hastigt flyver forbi langt væk, eller om der er tale om et lille langsomt objekt tæt på, dette kan kun afgøres ud fra en bestemmelse af banen.

Teleskopet på Bering sigter mod at måle fluxen af alle størrelser af asteroider, men er i også i stand til at kunne tage billeder af overfladen på et objekt der kommer tæt nok på. For hurtigt at kunne afgøre afstanden til et objekt, uden at skulle vente på en bestemmelse af banen, er Berings teleskop udstyret med en laser ranger, som kan måle afstand og radialhastighed af alle objekter der er nærmere end 20.000 km. På den måde kan Bering hurtigt kontrollere afstanden til de fundne objekter, og afgøre om der skulle være mulighed for et par nærbilleder af overfladen.

Måleprincipperne for Berings instrumenter, er beskrevet mere detaljeret i det følgende.

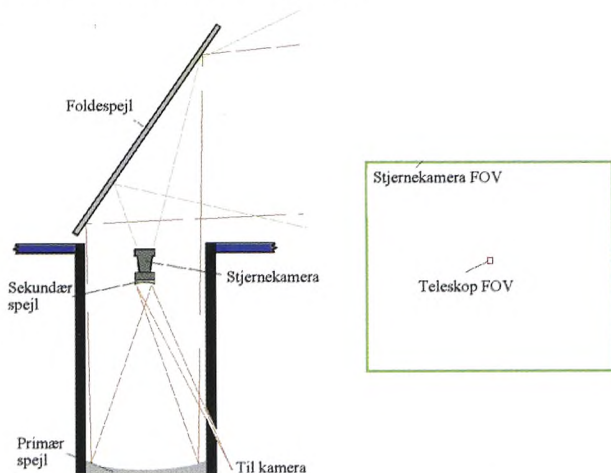
Stjernekameraerne

Stjernekameraerne, som de bruges på f.eks. Ørsted Satellitten, arbejder sædvanligvis med relativt kraftige stjerner, når de skal bestemme rumskibets orientering i rummet (attituden). Dette gøres for ikke at overbelaste computeren med regnearbejdet på en masse svage og for attitude-beregningen ubetydelige stjerner. Ved en attitude-samlingsfrekvens på 1 per sekund, sættes

stjerne-tærskelværdien derfor typisk til mv 7. På Bering vil samme grænse blive brugt for at finde attituden, men når først den er fundet, kan alle lysende objekter ned til en størrelsesklasse på mv 9,5 let undersøges. Mens stjernekataloget for stjerner ned til mv 7 indeholder 14.500 stjerner, så indeholder kataloget med stjerner ned til mv 9,8 mere end 380.000 stjerner. Til sammenligning kan et menneskeøje opfatte stjerner ned til ca. mv 6, hvilket svarer til de 6.000 klareste.

Når man begynder at se efter lysende objekter svagere end mv 6, vil man ikke blot se svagere stjerner, men også galakser (De Magellanske skyer og Andromedagænen, vores klareste galakser, kan lige ses med øjet), nebulae etc. For at udelukke disse fra yderligere behandling, sorteres alle de detekterede objekter således at kun de der bevæger sig i forhold til baggrunden bliver registreret i target-kataloget, dvs. et katalog over objekter der skal undersøges nærmere.

Både denne sortering samt den efterfølgende behandling af target-kataloget lettes dramatisk af, at stjerne-kameraet arbejder direkte i astrometriske enheder. Således registreres for hver observation, objektets rektascension, deklination og tid. Ved en senere observation af samme område af himlen, er det derfor let at isolere bevægede objekter.



Figur 2. Berings teleskop hvor et ekstra stjernekamera vil blive placeret som et sekundært spejl.

Tracking med teleskopet

Bering bruger sin forsyning af kold gas til at opretholde en præcis attitude bevægelse, samt til at holde antennen rettet mod jorden. Hvis rumfartøjet skulle bruge gas til at dreje teleskopet mod videnskabeligt interessante objekter ville man kun kunne operere 2 – 3 måneder før gassen var brugt op. Desuden ville sådanne manøvrer betyde at man taber forbindelsen med jorden samt at sol-panelerne kunne blive drejet væk fra og kamera-kølepanelet drejet ind imod solen.

Bering teleskopet er derfor forsynet med et såkaldt foldningsspejl, der let retter teleskopets synsakse mod interessante dele af himlen. Denne teknik er ikke

ny, men på Bering, der jo kræver en høj grad af autonomi, er der placeret et ekstra stjernekamera oven på teleskopets sekundære spejl, der har omtrent samme synsakse som teleskopet. Dette er vist på skitsen figur 2.

Når foldningsspejlets motorer har rettet teleskopets synsakse nogenlunde mod et ønsket mål, vil stjerne-kameraet i løbet af 2 – 3 sekunder have finjusteret syntaksen således at målet er midt i teleskopets synsfelt. Ved løbende at bruge stjerne-kameraets målinger til at korrigere spejlets position, kan målet holdes i teleskopets billedfelt selvom Bering roterer og selvom målet bevæger sig forholdsvis hurtigt. Denne mekanisme sikrer ikke blot at man hurtigt kan få billeder af et objekt, den sikrer også mod at de uundgåelige justeringsfejl og unøjagtigheder i spejldrevet gør at man rammer ved siden af målet.

En ekstra finesse ved denne operation er, at den tillige gør det muligt at bruge en metode som Ørsted•DTU har udviklet til kalibrering af jordbaserede astronomiske teleskoper; ASCFIT. ASCFIT algoritmen beregner på grundlag af en omtrentlig attitude, og et teleskopbillede, en meget nøjagtig attitude ud fra teleskopbilledets stjerner. For Beringteleskopet er attitudenøjagtigheden 20 millibuesekunder. Og det er på grundlag af denne nøjagtighed, at asteroidens banebevægelse kan beregnes.

Laser-rangeren

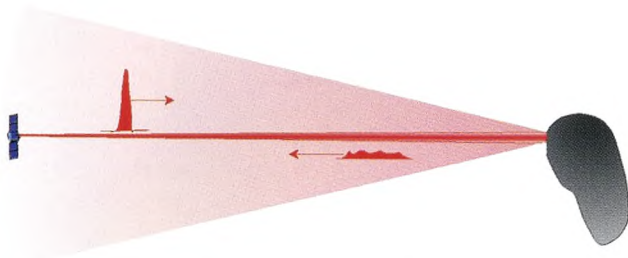
Laser-ranger instrumentet, er designet til at virke sammen med teleskopet, hvorved en stærkt forbedret ydeevne opnås. Selvom princippet i en laser-ranger er yderst simpelt, man måler tiden fra en lyspuls sendes ud, til den returner efter at have ramt målet, er der en serie tekniske vanskeligheder der skal overvindes for at den kan virke over større afstande.

Laserkilden i Bering instrumentet er en Nd:YAG, som bliver pumpet med diodelasere. Ved hjælp af Q-switching, kan 20 ns pulser med 0,5 J energi opnås.

Normalt ønskes der en vis divergens af laser-beamet, for at sikre at man virkeligt rammer målet (som de fleste politibetjente som har prøvet en laser hastighedsmåler ved). Men i Berings tilfælde sikrer teleskopets præcisionsstyring, at målet altid er midt i billedfeltet, hvorfor man kan tillade sig at optimere mod så lille beam-divergens som muligt. For et Gauss-beam er divergensen givet ved $\lambda/(\pi D)$, hvor λ er laserens bølglængde og D laserens udgangs-pupildiameter. For at få så stor kontrast som muligt mellem laserlyset og sollysets tilbagekastning fra asteroiden, er $\lambda = 1,064$ nm valgt. Med Beringteleskopets 250 mm pupildiameter opnås, at pletten kun er 30 m i 20.000 km's afstand.

En lille pletstørrelse er vigtig, da den sikrer den minimale pulsførbredning som følge af løbetidsforskellene som terrainvariationer på asteroiden uværgeligt vil skabe. Ved en stor plet, er chancen for

at laserpulsens reflekteres fra stærkt varierende dybder på asteroideoverfladen stor. En 20 ns puls er kun 6 meter lang, men hvis den reflekteres fra en skrånende overflade, hvilket jo er tilfældet hvis man ikke rammer midten af asteroiden, eller hvis man rammer et krater, kan returpulsens længde bliver flere hundrede nanosekunder lang.



Figur 3. Pulsdilatation pga. asteroidens overflade struktur.

Som detektor benyttes en såkaldt avalanche fotodiode. For at begrænse det reflekterede sollys mest muligt er fotodioden forsynet med en iris og et båndpas farvefilter. Irisen begrænser synsfeltet til laser-pletens område, mens farvefilteret fratriltrer lys med alle andre bølglængder end dem lige omkring laserens.

Konklusion

Bering vil være den første rumsonde der vil lede efter og kunne opdage og karakterisere små asteroider – mindre end et par kilometer. For at kunne følge fordelingen af asteroider i Jordens omegn og ud til asteroidebæltet, vil den skulle bevæge sig i en bane mellem 0,7 og 3,5 astronomiske enheder. Dette vil kunne bidrage med afgørende information om størrelsesfordelingen af små legemer i de indre dele af Solsystemet og i asteroidebæltet (se figur 1). For hver opdagelse forventer vi at:

- Bestemme den heliocentriske position og hastighedsvektor af asteroiden, dvs. asteroidens bane.
- Foretage fotometri af den reflekterede lys fra asteroiden i bølglængdeområdet 350 – 2200 nm, som

vil give information om asteroidens spektral type og dermed hvilken klasse af asteroider (og meteoritter) den hører sammen med (taksomomisk klassifikation).

- Observere lyskurven af objektet og derved udlede rotationsperioden.

For nogle enkle større asteroider vil vi desuden kunne:

- Optage flerfarve-billeder af overfladen.
- Bestemme massen og måle det magnetiske moment af asteroiden, og ud fra dette få information om porøsitet og mineral sammensætning.

Referencer:

- [1] M. G. Kivelson, L. F. Bargarze, K. K. Khurana, D. J. Southwood, R. J. Walker og P. J. Jr. Coleman (1993) *Science*, bind 271, side 331.
- [2] D. R. Davis, P. Farinella og F. Marzari (1997) *Lunar and Planetary Science Conference*, bind 28, side 287.
- [3] R. Michelsen, J. L. Jørgensen, H. Haack og A. Andersen (2002) "Asteroider, meteoritter og Bering", *Kvant*, bind 13, nr. 1, side 15–20.



Forfatterne (fra venstre): John Leif Jørgense er lektor på DTU og del af mastermind-teamet bag Ørsted satelliten, Anja C. Andersen er forskningsadjunkt i astrofysik ved NBI/AFG, René Michelsen er Ph.D.-stipendiat ved NBI/AFG i astronomi og Henning Haack er lektor ved Geologisk Museum og kurator for meteoritsamlingen samme sted.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Kolde antibrintatomer i magnetfælde

ATOMFYSIK. Ved CERN er der flere eksperimenter tilrettelagt til produktionen af kolde antibrintatomer, bl.a. for at studere om de også adlyder tyngdekraften, kvantemekanikken og relativitetsteorien. Antibrint består af en antiproton med en positron (elektronens antipartikel) udenom. Antiprotoner findes i kosmisk stråling og

positroner produceres f.eks. nær aktive galaksekerner. Der kunne teoretisk være større mængder antistof i Universet såsom antistjerner, antiplaneter og antigalakser, men når dette antistof møder almindeligt stof skulle der opstå katastrofale gammastrålingsudbrud hvilket ikke er set (de velkendte gammaglimt kræver en anden forklaring). For at optage et spektrum af antistof må fysi-