

ROSETTA

Rosetta är en sond till en komet som ESA just sänt upp med beräknad framkomst 2014. I denna artikel berättar kometforskaren Hans Rickman på ett personligt sätt om detta projekt. Hans artikel är dock inte bara en forskares beskrivning av ett rymdföretag, utan är också en berättelse om hur teorier förkastas, förutsättningar ändras och hur människan växer med den ökade kunskapen.

av Hans Rickman

Den här historien kan få börja för 40 år sedan i det tidiga 1960-talet. Rymdforskningen hade just kommit igång – sonder skickades till Venus och Mars, och man hade fått de första bilderna av månens baksida. Självt var jag i de yngre tonåren och lyssnade intresserat på det som sades i radio och tv om dessa bedrifter, fast mycket annat upptog sinna i högre grad. Jag var inte amatör-astronom och hade inget teleskop, och vad var väl månen mot Beatles och Animals?

Nyhetskonsument är vad jag var, vad rymdforskningen beträffar, och jag minns inte ens om jag hörde en sak man sade på den tiden, nämligen att rymdfärder till månen – särskilt bemannade – skulle kunna medföra avgörande avslöjanden om vårt solsystems ursprung. Det fina var att man skulle komma åt ursprungligt material från den urtid då planeterna skapades, medan även de äldsta bland jordens bergarter var omstöpta resultat av geologiska processer långt senare. Rymdsondernas närbilder av månen gav däremot intryck av en död värld, som möjligen skulle kunna vara

ett fossil från själva solsystemets tidiga skapelseskeden.

Man visste redan att många meteoriter (stenar som faller ner på jorden från rymden) var sådana fossil, men tekniken för att studera dem var inte alls i nivå med vad man senare skulle uppnå. Dessutom visste man inte så mycket om varifrån meteoriterna kom, så deras roll som budbärare var tämligen begränsad. Typiskt är också att optimismen kring rymdfärderna var stor, och man betraktade meteoritforskningen lite föraktfullt som "the poor man's space research" (den fattiges rymdforskning). Det betyder att om man inte hade råd att flyga till himlakropparna, så fick man vackert sitta och vänta på att de skulle regna ner på jorden. Men när man nu hade pengar och tekniska resurser, så skulle de förstås användas till att utforska de jungfruliga objekten på nära håll.

I denna anda kom månen att betraktas som en sorts Rosettasten. Var det ett reklamtrick från rymdforskarnas och rymdindustrins sida för att lättare "sälja" idén om att besöka månen till politiker och budgetansvariga? Ja, kanske delvis, men det var



FOTO: NASA

och jakten på vårt ursprung

i varje fall ärligt menat. Innebörden var att rymdfärdernas resultat skulle öppna våra ögon för meteoriternas budskap på samma sätt som den egyptiska Rosettastenen gav nyckeln till att tolka de egyptiska hieroglyferna. Vi skulle alltså kunna "läsa" om vårt solsystems ursprung på ett helt annat sätt, liksom läsningen av hieroglyferna totalt förändrade förutsättningarna för 1800-talets egyptologer.

När man väl kom till månen, och de amerikanska Apolloastronauterna och de automatiska sovjetiska Lunasonderna hämtade hem sten och grus därifrån, visade det sig att dessa månstenar inte alls bär budskap om solsystemets ursprung. Månen må vara stendöd i våra dagar, men en gång flödade en magmaocean där, och olika mineral separerades och stelnade på olika djup på liknande sätt som det sker på jorden. Det var för mer än fyra miljarder år sedan och de bergarter som bildades då är äldre än de jordiska, men det var trots allt flera hundra miljoner år efter det att solsystemet kom till.

Vändpunkten i Lyon

Nu flyttar vi oss fram till 1976. Hur har det gått med jakten på det jungfruliga? Meteoriterna står fortfarande i fokus och man känner dem mycket bättre, men man vet ännu inte tillräckligt om varifrån de kommer. Spåren leder entydigt till asteroidbältet, där man har funnit

att asteroiderna oftast består av material som liknar de ursprungligaste meteoriterna. Denna kunskap kommer från jämförelser av spektra, dvs. hur reflexionsförmågan beror på våglängden. Men mycket är fortfarande oklart om vilka meteoriter som kommer från vilka asteroider.

Sådan var situationen, när jag på sommaren åkte till Lyon i Frankrike för att delta i ett möte om kometer, asteroider och meteoriter. Jag höll på att göra färdig min doktorsavhandling om kometernas ursprung och utveckling, så mötet var intressant för mig. Men precis hur kometerna skulle komma in i bilden av solsystemets ursprung var fortfarande oklart, åtminstone för mig. Kanske det gällde för alla de kometintresserade på den tiden. Vi förstod att kometerna var som asteroidernas mer avlägsna systrar, som hade bildats längre ut från solen och hade stannat i en djupare köldförvaring, så de bestod till stor del av is. Men det fanns en jättelik skillnad i åtkomlighet för observationer. Asteroiderna var lätta att observera bara man kom åt tillräckligt stora teleskop, men kometkärnorna var oerhört gäckande – man visste faktiskt inte ens om de existerade, eller om kometerna rakt igenom bara var moln av stoft och is!

När jag ser tillbaka på mötet i Lyon upplever jag det som en brytpunkt. Forskningen om solsystemets ursprung höll på att få fast mark under fötterna. Det som hade varit lösa hypoteser eller sofistikerad teori utan



grund i observationer började utvecklas till ett trovärdigt idébygge. I stora drag kan det sammanfattas på följande sätt: Solen bildades i centrum av en roterande insamlingskiva av gas och stoft, och i denna skiva (även kallad solnebulosan) kunde tidvis stoftet klumpa ihop sig till större och större kroppar. Detta var början till uppbyggnaden av planeterna. Som ett viktigt mellanled förekom konglomerat av stoftklumpar med flera kilometers utsträckning – s.k. planetesimaler. Dessa planetesimaler fungerade som byggstenar när planetbygget tog fart.

Eftersom meteoriterna verkar bestå av planetesimalmaterial undrade vi om asteroiderna kunde vara planetesimaler eller ansamlingar av planetesimaler som har överlevt till nu-tid. Många trodde att det var så, och i viss mån är det fortfarande den allmänna uppfattningen. Den enda reservationen gäller att asteroiderna nästan genomgående har slagit sönder varandra vid katastrofartade kollisioner, så att nästan alla i dag är flisor och fragment istället för ursprungliga kroppar från solnebulosan.

Sedan tillkom ett annat övervägande baserat på kemiska beräkningar av materiens beteende i solnebulosan. Visst kan man säga att alla planetesimaler är jungfruliga om de har överlevt till nutid utan att förändras av geologiska processer eller kollisionernas chockvågor. Men det är ändå möjligt att se somliga som mer jungfruliga än andra – ungefär som i Orwells Djurfarmen, där alla djuren var jämlika, fast grisarna var mer jämlika än de andra.

Det är nämligen så, att solnebulosans yttre delar var kallare än de inre. Om materiens sammansättning var densamma överallt betyder det att mer och mer var i fruset och fast tillstånd istället för i gasform ju längre ut i solnebulosan materien fanns. Därför väntar man sig att planetesimalernas sammansättning blir mer och mer ”komplett”, ju längre ut de bildades. En sådan tendens syns inom asteroidbältet, där de yttre asteroiderna tycks rikare på flyktiga ämnen som kolföreningar och vatten än de i inre delen av bältet.

I denna mening är de planetesimaler som bildades längst bort även de jungfruligaste. Då frågar man sig genast om det verkligen är till asteroider man ska skicka rymdsonder för att hitta solsystemets verkliga Rosetta-

stenar. Kometerna borde ju vara bättre, om de verkligen har fasta kärnor och dessa kan vara planetesimaler från det område där de yttersta jätteplaneterna håller till.

När vi diskuterade kometernas ursprung på mötet i Lyon, så gällde det hur *Oorts kometmoln* hade uppstått (se teckningen av Calvin J. Hamilton nedan). Denna enorma kometreservoar omsluter solsystemet i alla riktningar på avstånd jämförbara med de närmaste stjärnorna. Därifrån kommer ständigt nya kometer på besök, och 1976 trodde man fullt och fast att samtliga kometer

hade kommit denna väg, inklusive de som går i banor mestadels innanför Jupiterbanan (den s.k. *Jupiterfamiljen*).

Orsaken skulle vara att Jupiters gravitation vid närpassager förändrade banorna totalt – s.k. kometinfångning.

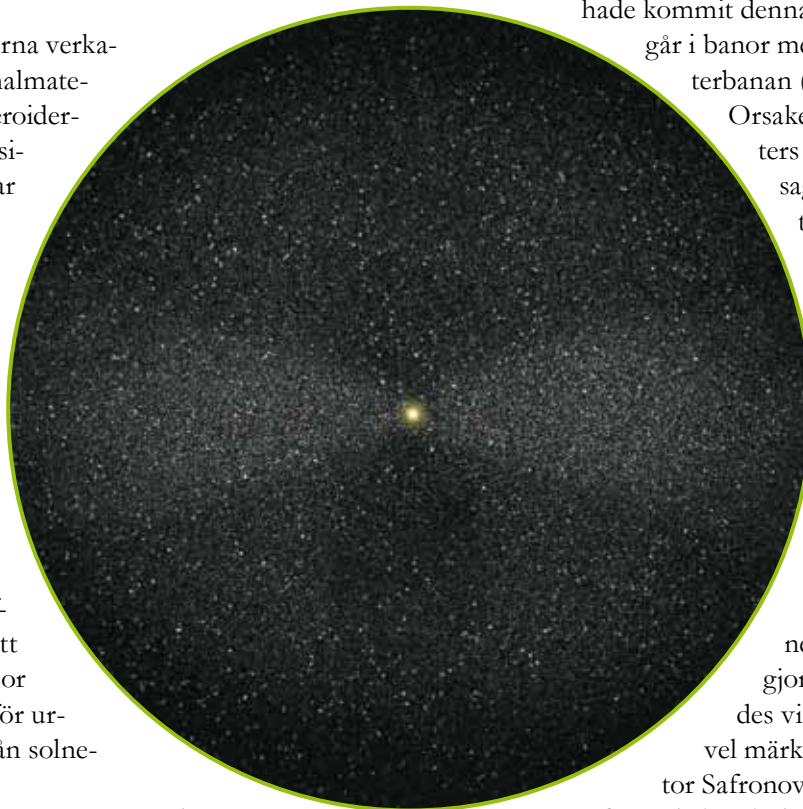
Detta var ämnet för min avhandling. Mina egna resultat sade ingenting om huruvida infångning av kometer från Oorts moln verkligen fungerade som källa till Jupiterfamiljen. Men amerikanen Edgar Everhart hade gjort beräkningar som sades visa detta, och inget tvivel märktes ännu. Ryssen Viktor Safronov presenterade sina omfattande beräkningar av hur planeterna

hade bildats genom sammanslagning av planetesimaler, och där framgick att Uranus och Neptunus när de byggdes upp hade slungat ut jättelika mängder planetesimaler till stora avstånd, där de kom att bilda Oorts moln.

Den kemiska sammansättningen hos dessa planetesimaler borde också vara lik den som kometerna tycktes ha, så vi kometforskare var ganska nöjda och började se våra studieobjekt som möjliga Rosettastenar vid utforskandet av solsystemets ursprung. Till detta kom att tiden började nalkas, när den mest berömda av alla kometer – Halleys komet – skulle återvända efter sin senaste passage 1910.

Halley, Hyakutake och Hale-Bopp

År 1986 var det dags. Halleys komet var redan funnen sedan några år. På ESA (European Space Agency) hade tanken på att skicka den första interplanetära sonden till Halleys komet dryftats i åtskilliga år, och efter många om och men var sonden (vid namn *GiOTTO*) nu på väg. I själva verket var det en hel liten flottilj, för där fanns även de sovjetiska Vegasonderna samt de japanska Sui-

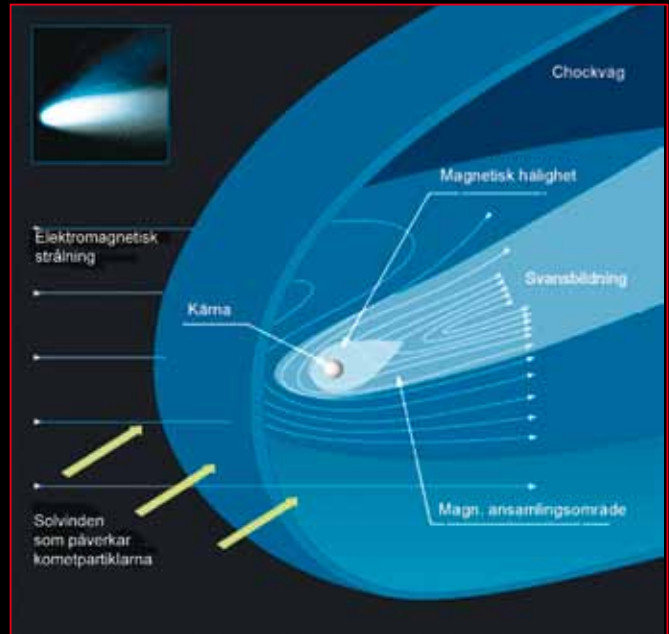


I HUVET PÅ EN KOMET

En kometkärna består av en klump av tämligen lös is med en hel del grus och kolväteföreningar inblandade. När den kommer tillräckligt nära solen förångas isen och de fasta partiklarna närmast ytan släpps fria; störst blir effekten där de ofta djupsvarta kolvätena suger åt sig solvärmen.

Partiklarna river med sig gas som först bildar koman, men solvinden och strålningstrycket från solljuset puffar materian bort från solen så att kometsvansen, eller rättare svansarna, bildas; joniserad gas i svansen styrs även av solens magnetfält och ger en rak plasmavans, medan partiklarna sveper ut i en böjd stoftsvans.

Kometens framfart genom rymden ger upphov till en bogchockvåg som dock inte syns utan speciella hjälpmedel. Ibland händer det att en del av svansen lossnar och seglar iväg på egen hand, då inträffar en s.k. disconnection event.



TECKNING: ESA / ASES MEDIALAB



1910

Halleys komet vid de två senaste passagera – ovan fotograferad 1910, och till höger rymdsonden Giottos bild av kometkärnan när sonden svepte förbi på mycket nära håll.



1986

FOTO: ESA

sei och Sakigake. Även USA försökte hänga med genom att styra ut en sond från jordmagnetosfären till en avlägsen passage genom svansen på Halleys komet – denna kallades ICE (*International Cometary Explorer*).

Detta markerar en ny inriktning hos rymdforskningen. Både USA och Sovjetunionen hade länge ägnat sig enbart åt utforskning av planeter och månar, men nu kom jakten på det jungfruliga materialet åter in i bilden. Typiskt är att Vegasonderna från början var Venussonder, som efter passagen intill Venus och avlämnandet av instrumentpaket för planetens yta och atmosfär länkades av mot Halleys komet (på ryska: *Kometa Galleia*) – därav namnet Ve-Ga, dvs. Vega.

När sondererna kom fram och en efter en flög genom kometens huvud – och Giotto slog alla rekord med en lågsniffning bara 600 km från kärnan! – var det förstås en stor mediehändelse. I Sverige ledde det till ett av mina första framträdanden i tv:s nyhetsprogram, som jag tror varade i cirka två sekunder, när jag svarade ja på en av reportern noga formulerad fråga.

Revolutionerande resultat

Men resultaten från dessa sonder skulle visa sig i sanning revolutionerande. Stora delar av kometforskningen skakades om i grunden och fick starta om på nya premisser. Det kan sammanfattas i följande enkla iakttagelser:

Kometkärnan, vars existens hade betvivlats, visade sig inte bara finnas – den var större än de flesta hade trott och svartare än sot. Gasflödet från kärnan tycktes koncentrerat till ”aktiva fläckar”, som bara täckte en liten del av ytan. När sondererna passerade, var kometen ganska nära solen (dvs. ett stycke innanför jordens bana), och stoftkornen förstördes delvis och förgasades i solvärmen, varvid en rätt obehaglig gasblandning uppstod. Somliga jämförde det med avgaserna från en dieselmotor. Att vistas i Halleys komet skulle alltså vara som att cykla bakom en gammal trasig buss, fast mycket värre.

Studiet av själva kornen, liksom av materiens sammansättning i stort, gav belägg för den åsikt som amerikanen Mayo Greenberg länge hade förfäktat. Han menade att kometkärnorna var uppbyggda av oerhört små korn, som hade bildats långt före solsystemet och i den fruktansvärda kyla som föregick solsystemets uppkomst hade dragit på sig mängder av is. Kornen skulle även innehålla en stor andel komplexa organiska ämnen med stor kolhalt. Varje korn skulle vara mindre än en mikrometer i utsträckning – som partiklarna i cigarettrök. En ansamling av sådana korn skulle vara mycket porös, så kometkärnorna borde ha mycket låg densitet.

Trots alla observationer både från rymdsonderna och från jorden kunde man inte bestämma kometens sam-

mansättning av molekyler särskilt noggrant. Men atom-sammansättningen stod snart ganska klar, och det visade sig att den är extremt jungfrulig, dvs. i stort sett densamma som i solen – till och med i betydligt högre grad än de jungfruligaste bland meteoriterna. Dessutom gjorde jag en intressant upptäckt när jag uppskattade massan

hos kometkärnan. Resultatet var en låg densitet som stämde med Greenbergs förväntan, och jag minns ännu hur glad han blev över detta.

Kartläggningen av kometernas molekyler skulle snart bli mycket lättare i och med att nya radioteleskop byggdes för de kortaste våglängderna, kring 1 mm. Där har många molekyler starka emissionslinjer, som har kunnat observeras i flera kometer på senare år – framför allt Hyakutake och Hale–Bopp. Man kan säga att vår kunskap om kometernas sammansättning nu vilar på tre H – Halley, Hyakutake och

Hale–Bopp. Och budskapet är klart. Kometerna påminner om de interstellära moln där stjärnor håller på att bildas. Samma molekyler observeras i stora drag och i liknande proportioner. Detta antyder att kometerna är ännu mer jungfruliga än vi kunde tro. De består kanske av material som är ännu äldre än solnebulosan.

Vägen mot Rosetta

Europas kometforskare och rymdtekniker hade förstås fått blodad tand i och med Giottosondens framgångar. Redan på sommaren 1986 var jag med på ett möte i Canterbury i England om *The Comet Nucleus Sample Return Mission* – ett projekt som gick ut på att skicka en rymdsond till en kometkärna för att gräva upp material och ta hem det till jorden för analys. Detta diskuterades på allvar som ESA:s nästa stora insats inom solsystems-forskningen.

Samtidigt planerade NASA en annan rymdsond, som skulle göra något mindre ambitiöst men ändå mycket intressant. Den skulle slå följe med en komet i banan kring solen och studera dess utveckling under flera år och från nära håll. Projektet innefattade även asteroidstudier och kallades *CRAF (Comet Rendezvous and Asteroid Flyby)*.

Här dög inte Halleys komet längre, för dess bana har alldeles fel egenskaper för ett sådant projekt. Dessutom kommer den inte tillbaka förrän 2061, och så länge räcker inte vårt tålamod. Man vänder sig i stället till Jupiterfamiljen, där kometerna har omloppstider på cirka 6–7 år. Många av dem har också mycket välbestämda banor – problemet är bara att Jupiterfamiljens kometer är mycket mindre och ljussvagare än Halleys komet. Det gör det svårare att förbereda rymdfärderna genom detaljerade observationer.

Det skulle dock visa sig i början av 1990-talet att



Mayo Greenberg (1922–2001) med en modell av isbelagt kometstoft.

Churyumov–Gerasimenkos komet, den suddiga fläcken i mitten av bilden, fotograferad från La Silla-observatoriet.



NASA inte fick pengar till CRAF och inte heller till att delta i ESA:s stolta projekt, som därmed föll bort ur planeringen. Kanske hade det varit för ambitiöst, och kanske borde man inte ha satsat så starkt på amerikanskt deltagande. Men resultatet var i alla fall att luften åter verkade ha gått ur den rymdbaserade jakten på solsystemets startmaterial.

Jag har ingen fullständig insikt i vad som försiggick i ESA:s beslutande organ på den tiden och som fick händelseutvecklingen att vända. Däremot minns jag att tysken Uwe Keller var drivande. Han samlade några andra forskare omkring sig – bl.a. jag själv – och uppvaktade ESA med idén att Europa skulle genomföra något som påminde om CRAF och som kunde göras självständigt utan att bero av amerikanskt stöd.

Troligen var det i och med detta som Rosetta-projektet kom att födas. Snart var det i full gång, och när ESA definierade de s.k. hörnstensprojekten, som var stom-

men i det vetenskapliga programmet för början av det nya millenniet, så fick Rosetta representera solsystems-forskningen och tog plats som en av hörnstenarna.

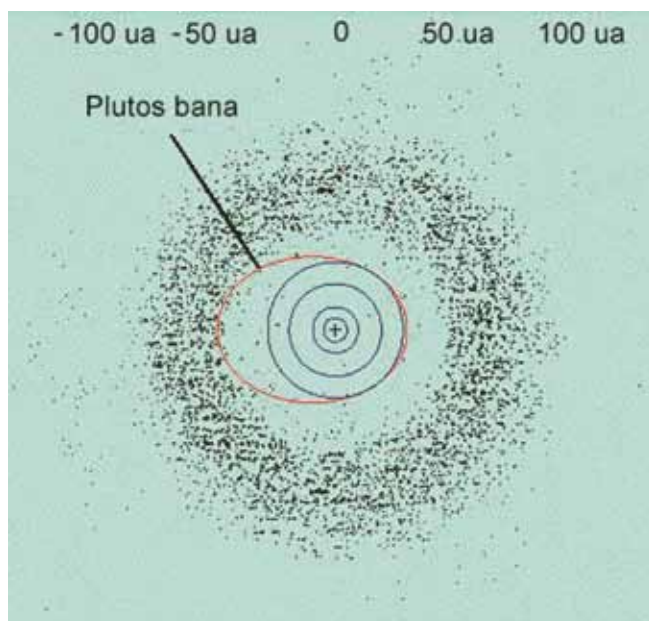
Strategin blev snart klar. Det gällde att välja ut en av kometerna i Jupiterfamiljen. Rymdsonden skulle skickas ut i närheten av Jupiters bana och träffa på kometen när den var som längst från solen. På vägen skulle även några asteroider passeras på nära håll. Genom en serie manövrer skulle man närma sonden till kometkärnan tills man kunde få den in i omloppsbana, styrd av kärnans tyngdkraft. Sedan skulle sonden följa med kometen in mot den innersta delen av banan kring solen (det s.k. periheliet), och man skulle i detalj studera allt som hände på vägen.

En viktig del av Rosetta, som inte hade funnits i CRAF, var landaren. Denna ganska stora tingest skulle lösgöras från sonden en tid efter ankomsten till kometen och styras med raketmotorer till en mjuklandning på kometkärnan. Den skulle föra med sig en serie olika instrument för analys av kärnans material och struktur.

När det gällde att välja ut den komet som skulle besökas, så var ett viktigt kriterium att kometen ska vara ”färsk”. Det betyder att den ska vara så nyinfångad som möjligt, eftersom man tror att kometkärnorna utvecklas och åldras, när de får gå många varv i sina banor.

Problemet är att vi inte kan veta säkert vilka kometer i Jupiterfamiljen som är mest nyinfångade. Utvecklingen av deras banor är så kaotisk att allt är höljt i dunkel bara vi går tusen år tillbaka i tiden. I brist på bättre föredrar man sådana kometer där man vet att periheliet nyligen har flyttats närmare solen genom en närpassage intill Jupiter. Men det säger faktiskt ingenting om kometens verkliga fräschhet.

En skiss av Kuiperbältet och de yttre planeternas banor. Man har hittills funnit omkring 1 000 s.k. Kuiperbältesobjekt (KBO:s). Uppskattat antal är emellertid mer än 70 000 som är minst 100 km stora. →





Rosettas landare på plats på kometens kärna

En komet åt Rosetta!

Det som verkade så klart 1976, nämligen att Jupiterfamiljen härstammar från Oorts moln, har sedan omvärderats totalt. Fler och fler forskare kom under 1980-talet på teoretiska grunder att tvivla på denna förklaring. De menade att en troligare källa till Jupiterfamiljen skulle finnas strax bortom Neptunusbanan, där massor av isiga små himlakroppar borde röra sig i banor nära planeternas banplan. Tillsammans skulle dessa forma ett bälte liknande asteroidbältet, fast mycket längre bort.

När småplaneten 1992 QB 1 upptäcktes på sommaren 1992 av David Jewitt och Jane Luu, och den visade sig ha en bana precis i det eftersökta bältet, började saken anses klar. Vi känner nu för övrigt omkring 1 000 liknande kroppar. De är alla ca 100 kilometer eller mer i utsträckning (ca 1 000 km som mest), därför att det fortfarande är svårt att upptäcka dem som är mycket mindre än så. Men ingen tvivlar på att de mindre kropparna existerar i mycket stort antal.

Det finns många intressanta, olösta problem kring detta bälte – av de flesta kallat *Kuiperbältet* efter den holländsk-amerikanske astronomen Gerard Kuiper – men jag kan inte gå in på dem nu. De flesta kometerna i Jupiterfamiljen har nog sitt ursprung där, men det finns även en del som kommer från Oorts moln. Det betyder att kometerna kan ha bildats på olika ställen och utvecklats på olika sätt. Vad det betyder i detalj vet vi inte

ännu, men forskning pågår om detta.

Det första målet som utsågs för Rosetta var en komet vid namn Wirtanen. Den var känd sedan slutet av 1940-talet och observerad regelbundet vid så gott som varje tillfälle. Men den var inte särskilt ljusstark, och observationerna var inte detaljerade. Ett plus var dock att den hade passerat nära Jupiter så sent som 1972 och då fått sitt perihelavstånd minskat.

Till en början såg allt bra ut med kometen Wirtanen. Den visade en hög aktivitet i sin nya bana, så den skulle säkert visa upp alla intressanta fenomen som är typiska för kometer. Men sedan dök fler och fler problem upp. Fransmannen Philippe Lamy och några kolleger lyckades observera kometkärnan med rymdteleskopet Hubble och de såg att den var mycket liten – om den var en sfär, så skulle radien bara vara 600–700 meter.

Jag använde mina beräkningar av hur isen sublimerar och lämnar en kometkärna, och jag fann att hela ytan av Wirtanens kärna knappast skulle räcka till för att förklara den observerade mängden vattenmolekyler. Till skillnad från Halleys komet med sina aktiva fläckar tycktes vi här ha att göra med en som frenetiskt gjorde av med sin is från hela ytan, och kanske ännu värre – det tycktes möjligt att ytlagren bröts sönder nära solen, så att en massa isklumpar lösgjordes och sublimerade på egen hand.

I ljuset av att kometkärnan redan var så liten kunde

man faktiskt oroa sig för att den snabbt fortgående fragmenteringen och sublimeringen skulle kunna betyda slutet för Wirtanens komet redan innan Rosetta hann fram. Andra kometer hade råkat ut för detta tidigare. Men om det inträffade i detta fall vore det naturligtvis hemskt pinsamt, så även om risken var liten var den värd att tas på allvar.

Man ändrade ändå inte planerna, utan allt var inställt på uppskjutning av Rosettasonden den 13 januari 2003 – ända tills den tilltänkta, nya rakettypen Ariane 5 skulle provas i december 2002 och uppskjutningen från Kourou i Franska Guyana gick helt på tok. Efter intensiva utredningar fattade ESA:s vetenskapliga ledning beslutet att stoppa Rosettauppskjutningen och invänta ett bättre tillfälle, när man riktigt hade förstått varför raketerna hade havererat.

Det betydde att den planerade färdvägen till Wirtanens komet inte längre var aktuell. Man var alltså tvungen att hitta en ny färdväg – antingen till Wirtanens komet eller till en annan. Valet föll på kometen Churyumov–Gerasimenko (bild på sidan 11), som hade upptäckts 1969 av två ukrainska astronomer. Även denna komet har nyligen skickats närmare solen i samband med en mycket nära passage intill Jupiter, i detta fall år 1959, och den är relativt ljus och aktiv för att tillhöra Jupiterfamiljen.

Kärnan i Churyumov–Gerasimenko är mycket större än Wirtanens kärna. Lamys mätningar med Hubbleteleskopet har antytt en radie på ca två kilometer. Jämför

man detta med den observerade mängden gas i komet-huvudet, så finner man att högst ca 10 % av ytan deltar i gasproduktionen. Jag finner i stort sett bara fördelar med detta. Wirtanen är en hyperaktiv komet, som snart förgås och redan visar tecken på att vara döende. Men Churyumov–Gerasimenko tar det lugnare och kommer att existera länge än, och allt tyder på att den är lika jungfrulig.

Det finns bara ett problem. Landaren har en ganska ranglig konstruktion och tål inte att möta kometkärnan med en fart betydligt högre än en meter per sekund. Med Wirtanens mycket svaga gravitation var det lätt att klara detta krav, men för Churyumov–Gerasimenko kan det bli svårt. Allt hänger på vilken densitet kärnan har. Om den är lika låg som för Halleys komet och några andra är det ingen fara. Men ingen har ännu försökt bestämma densiteten för Churyumov–Gerasimenkos komet.

Nu är det bestämt att Rosetta ska skjutas upp den 26 februari 2004. När detta läses vet vi om det gick bra och jag håller tummarna tillsammans med mina kometforskarkollegor i andra länder. Under tiden jobbar vi vidare på att bestämma till exempel var kometen kan ha sitt ursprung och vilken densitet den har. ♦

HANS RICKMAN är professor i astronomi vid Uppsala universitet och arbetar särskilt med de mindre kropparna i solsystemet.



FÖLJ MED PÅ EN RESA I MATERIENS INRE

Atomkärnan – en resa till materiens inre ger en lättförståelig presentation av hur atomkärnornas hemlighetsfulla värld avslöjades och på vilket sätt kärnvetenskap spelar en viktig roll i vår vardag. De vetenskapliga pionjäreernas begåvning och eleganta teorier har varit en inspirationskälla till den här berättelsen som riktar sig lika mycket till oinvidiga som till studenter. Hårdband och storformat. Av Ray Mackintosh, Jim Al-Khalili, Björn Jonson och Teresa Peña.

143 sidor • ISBN 9144029268 • Art.nr 31328 • www.studentlitteratur.se/31328

... OCH I KVANTMEKANIKENS TVETYDIGA VÄRLD

Paradoxen som försvann. Kvantvärlden är konstig men inte så konstig som du tror ger en helhetsbild som visar att den välbekanta och pålitliga verkligheten som omger oss kan vara en konsekvens av den osäkerhet som råder i den subatomära kvantvärlden – den värld vi inte direkt kan iakta. Av David Lindley.

230 sidor • ISBN 9144017367 • Art.nr 7636 • www.studentlitteratur.se/7636

För mer information kontakta Monica Larsdotter, Naturvetenskap och Miljö, tel 046-31 22 52, e-post monica.larsdotter@studentlitteratur.se eller besök vår webbplats: www.studentlitteratur.se

Studentlitteratur AB • Box 141 • 221 00 Lund • Tel 046-31 20 00 • Fax 046-30 49 62 • www.studentlitteratur.se

Ja tack, jag beställer

..... ex av *Atomkärnan*, art.nr 31328-01 à 322 kr inkl moms (ord.pris 387 kr)
304 kr exkl moms

..... ex av *Paradoxen*, art.nr 7636-01 à 220 kr inkl moms (ord.pris 265 kr)
208 kr exkl moms

Namn:

Org./avd.

Adress:

Postadress:
11 04 X1

Frakt och exp.avgift tillkommer (min. 60 kr). Erbjudandet gäller endast hos Studentlitteratur mot denna kupong t.o.m. 2004-04-30. Ingen returrätt. Privatpersoner har dock rätt att ångra köp inom 14 dagar.

Frankeras ej.
 Studentlitteratur
 betalar portot.

Studentlitteratur AB
 Naturvetenskap och Miljö

Svarspost
 Kundnr 200011003
 228 11 LUND