

Astronomin som exakt vetenskap

den matematiska astronomins utveckling

till och med

Johannes Kepler

Göran Henriksson

Uppsala oktober, 2004

Astronomin som exakt vetenskap

den matematiska astronomins utveckling

fram till Johannes Kepler

Sammanfattning: Den moderna naturvetenskapen bygger på matematiska modeller. Äldre tiders naturvetenskapliga framsteg har gjorts av forskare som har varit i besittning av en tillräckligt stor matematisk kunskap för att själva kunna utveckla de matematiska metoder som varit nödvändiga för tolkningen av mätningar och observationer.

Detta gäller inte minst inom astronomin där de tidiga grekiska astronomerna också var skickliga matematiker, som utvecklade geometrin och trigonometrin för att kunna förklara spektakulära himlafenomen såsom sol- och månförmörkelser, planeternas rörelser och himlakropparnas uppträdande på himlavalvet. Den grekiska astronomins utveckling kulminerade c 150 e Kr med Claudius Ptolemaios' geocentriska världsbild i *Almagest*.

De arabiska astronomerna byggde vidare på grekernas kunskaper och utvecklade talteorin och algebran så att de allt mer exakta astronomiska formlerna på ett hanterbart sätt skulle kunna tillämpas och teorin kunna jämföras med observationerna. Man började också framställa hjälptabeller så att astronomin blev mera praktiskt användbar även för navigation på öppna havet.

Det var först under medeltiden som den matematiska astronomin spreds till Europa, i första hand till de tidigare arabiska provinserna i Spanien. Den kastilianske kungen Alfonsius X anlätte arabiska och judiska astronomer och matematiker för att framställa de så kallade *Alfonsinska tabellerna* för himlakropparnas rörelser. Den första versionen blev färdig 1272. Dessa tabeller hade stor betydelse för astronomins utveckling i Europa och Nicolaus Copernicus ägde ett exemplar av andra utgåvan från 1492. Hans heliocentriska världsbild, publicerad 1543, var mera ett filosofiskt än ett teoretiskt framsteg eftersom hans modell fortfarande byggde på att planeterna rörde sig i cirkulära banor.

Tycho Brahe var den förste moderne naturvetenskapsmannen. Han konfronterade för första gången Aristoteles världsbild med verkligheten genom observationer av himlakropparnas rörelser och hans noggranna parallaxmätningar av supernovan från 1572 bevisade att förändringar på himlavalvet kunde äga rum även bortanför månens bana, i direkt strid med Aristoteles postulat. Brahes strikt empiriska attityd förhindrade honom att acceptera Copernicus heliocentriska världsbild eftersom han inte kunde uppmäta några stjärnparallaxer. Tack vare Brahes förbättrade observationsteknik kunde planeternas och stjärnornas positioner bestämmas med bästa möjliga exakthet med blotta ögat. År 1599 utsåg Rudolf II, i Prag, Tycho Brahe till kejserlig hovmatematiker och Johannes Kepler utsågs till hans assistent.

Efter Brahes död 1601 fick Kepler på egen hand ansvaret att bearbeta Brahes observationer och publicera dem i de så kallade *Rudolfinska tabellerna* (1627). Under arbetet med detta förstklassiga observationsmaterial kom Kepler till insikt om att planeterna rörde sig i elliptiska banor med solen i ena brännpunkten och kunde formulera sin tre epokgörande lagar för planeternas banor.

Med Keplers tre kinetiska lagar som utgångspunkt kunde Isaak Newton utveckla sina tre kraftlagar och gravitationslagen och lägga grunden till den moderna fysiken.

Astronomin före grekerna

Förhistorisk astronomi

Den förhistoriska astronomens verksamhet omfattade endast begränsade problem som kunde lösas på ett för samhället tillfredsställande sätt. Dessa problem gällde i första hand att etablera en tillförlitlig årskalender för att man skulle kunna klara försörjningen, men också en månkalender så att man kunde fira de religiösa festerna vid en viss månfas i rätt månad. De astronomiska kunskaperna gällde främst perioderna för de olika himlakropparnas, främst solens, månens och Venus', cykliska variationer och var inte vetenskapligt inriktad för att göra generella matematiska modeller av den bakomliggande fysiken.

Efter några generationer hade en teknik utvecklats som löste de uppställda problemen och i fortsättningen gällde det bara att bevara kunskaperna och uppdatera de etablerade reglerna om avvikelserna blev för uppenbara.

Babylonien

Sumererna skapade den första högkulturen i Mesopotamien, tvåflodslandet mellan Eufrat och Tigris, och den blomstrade redan 3500 f Kr. Den äldsta kända skriften, kilskriften på lertavlor, är från 3200-talet f Kr. Förutom legala transaktioner och religiösa texter finns det också bevarade lertavlor med räkneövningar i reguladetri från 2000-talet f Kr, som använts i skolundervisningen. Sumererna och de efterföljande folken i detta område, använde sexagesimalsystemet med 60 som bas istället för 10 som vi använder.

Cirka 2300 f Kr invaderades landet av de mera primitiva Akkaderna, men dessa lärde sig snabbt att uppskatta sumerernas kunskaper och de sumeriska orden för olika matematiska och astronomiska begrepp togs upp i det Akkadiska språket. Akkaderna uppfann abakusen, kulramen, som ett hjälpmedel vid aritmetiska operationer såsom addition, subtraktion, multiplikation och division.

Babylonierna, runt 2000 f Kr, indelade dygnet i 24 timmar, där varje timme indelades i 60 minuter som bestod av 60 sekunder. Man uppställde och löste specialfall av kvadratiske och kubiska ekvationer. Problem som krävde sådana lösningar uppstod när man skulle beräkna ytor respektive volymer. Man har hittat hjälptabeller med kvadrater och kuber på heltal. Man måste göra rotutdragningar för att kunna lösa dessa problem. Det finns en text från ca 1750 f Kr som ger ett geometriskt bevis för Pythagoras sats.

Bevarade omentexter från cirka 2000 f Kr visar att en del månförmörkelser inte inträffade på förutsagd tid, vilket innebär att man väntade sig att man skulle kunna förutsäga månförmörkelser. Det handlade säkert om perioder såsom Saroscykeln, som stämmer för hela jordklotet, men som förefaller att slå fel på orter där månen inte är ovanför horisonten under själva förmörkelsen.

När det gäller solförmörkelser är problemet ännu större eftersom där gäller det inte bara att solen skall befinna sig över horisonten, för att förmörkelsen skall kunna observeras, man måste också befinna sig inom en begränsad del av jordytan där månen kastar sin skugga. Detta innebär att totala solförmörkelser är mycket sällsynta på en bestämd ort på jordytan. För att kunna göra tillförlitliga beräkningar av totala solförmörkelser krävs att man med minutnoggrannhet vet när månens kärnskugga passerar en given ort på jordytan. Denna kunskap saknade babylonierna.

De hade däremot utvecklat formler för när man kunde observera Venus för sista gången på kvällen och första gången på morgonen. Dessa formler hade börjat visa alltför mycket fel när Ammisaduqa blev kung i Babylon 1606 f Kr, min datering. Under hela hans 21-åriga regering genomförde hans astronomer observationer av Venus och dessa finns antecknade i Ammisadugas Venustabell som har bevarats genom avskrifter. Astronomer har under hela 1900-talet försökt att bestämma första året av Ammisadugas regering genom att jämföra hans

observationer med moderna beräkningar, men utan att man har kunnat hitta en entydig lösning. Problemet är att Venus har en åttaårsperiod i förhållande till jorden och planeten upprepar sina faser på liknande sätt vart åttonde år. Det fanns tre olika lösningar som var huvudalternativen, men ingen av dessa stämde tillräckligt bra med andra dateringsmöjligheter.

År 2001 kunde jag datera hela det gamla babyloniska riket med hjälp av två totala solförmörkelser som omtalats i de gamla texterna, men aldrig tidigare kunnat identifieras med moderna beräkningar. Dessa totala solförmörkelser i Babylon inträffade enligt mina beräkningar 1859 och 1558 f Kr, vilket stämmer mycket bra både med beskrivningen av de enskilda förloppen av solförmörkelserna och tidsavståndet mellan förmörkelserna som från kungarnas regeringstider kan beräknas till 300 ± 1 år, ("A new Chronology of the Old Babylonian Kingdom and Ur I-III based on identification of solar and lunar eclipses" by Göran Henriksson, accepted for publication in *Proceedings of the 10th annual meeting of the European Society for Astronomy in Culture (SEAC)*, Tartu, Estonia, 2002).

Från 600-talet f Kr, under det nybabyloniska riket, och fram till 100 e Kr finns många astronomiska texter bevarade. Grekerna lärde sig mycket av babylonierna, eller kaldéerna som de ofta kallades, och Ptolemaios använde av dessa texter när han formulerade sin teori för planetsystemet. En del av felen i Ptolemaios teori berodde på en felaktig longitudskillnad mellan Babylon och Alexandria, där han själv gjorde sina observationer.

Egypten

Även Egypten har en lång historia med hög civilisation. Området närmast Nilen var mycket bördigt och de omgivande ökenområdena gav ett naturligt skydd mot krigiska folk. Det uppstod tidigt två statsbildningar längs Nilen, övre och nedre Egypten. Dessa förenades runt 3000 f Kr till ett gemensamt rike. Vid denna tid existerade redan en skrift, de s k hieroglyferna.

Nilens regelbundna översvämningar kunde förutsägas och utnyttjas om man hade en väl utvecklad kalender och det krävdes sedan geometriska metoder och lantmäteri för att kunna rekonstruera de olika jordägarnas åkrar när floden dragit sig tillbaka. Dessutom var egyptierna mycket religiösa och gudarna krävde att de skulle dyrkas på bestämda datum och bestämda tidpunkter på dygnet. Det är därför inte förvånande att astronomi, matematik och geometri utvecklades mycket tidigt i Egypten.

Det ställdes också höga krav på beräkningar och teknisk skicklighet när de stora pyramiderna byggdes runt 2650 f Kr. Det egyptiska siffersystemet och beräkningar med detta finns bevarade på tidiga inskriptioner. Detta siffersystem var dock inte så väl anpassat för aritmetiska operationer och i synnerhet multiplikation och division var alltför krångligt. I praktiken utfördes multiplikation såsom upprepad addition.

Årets början definierades utifrån Sirius heliakiska uppgång, det vill säga det datum man för första gången kunde se Sirius före soluppgången, vilket inträffade i juli vid denna tid. Eftersom Nilens översvämning kom strax efteråt var detta ett mycket naturligt val av datum för nyåret. Det civila årets längd räknades som 365 dagar åtminstone från 2776 f Kr. Senare infördes det mera exakta värdet $365 \frac{1}{4}$, men den civila kalendern tog inte hänsyn till denna kunskap. Året indelades i 12 månader med 30 dagar och 5 extra dagar. Parallellt med den civila kalendern fanns också en religiös månkalender som reglerade jordbrukets krav på rätt datum för sådd och skörd.

Det var i templen som den matematiska och astronomiska expertisen fanns i form av präster. Hela nätterna observerade de tjänstgörande prästerna uppgången av stjärnor som ingick i serien av dekanstjärnor. På detta sätt kunde man bestämma rätta tidpunkten för olika nattliga offerceremonier. Centrum för astronomi och matematik fanns vid templet i Heliopolis, nära Memfis. Dit vallfärdade grekerna för att lära sig astronomi, geometri och matematik.

Grekerna

De tidigaste grekiska astronomerna och matematikerna reste till Egypten och Babylonien för att utbilda sig. I Egypten var det prästerna som bevarade kunskapstraditionerna inom de olika templen och deras kunskaper vilade på tusenåriga traditioner.

Det Egyptiska talsystemet var inte smidigt att använda vid beräkningar och egyptierna var inte intresserade av föränderliga himlafenomen som störde ordningen, *maat*. Babyloniernas astronomiska intresse liknade däremot mera den moderna astronomin och där utvecklades tidigt matematiska metoder för att kunna förutse sol- och månförmörkelser och att beräkna planeternas rörelser.

Om inget annat specificeras bygger nedanstående text huvudsakligen på uppgifter från *School of Mathematics and Statistics*, University of St. Andrews, Scotland, på *Internet*.

Thales från Miletos (ca 624-547 f Kr)

Den förste grek som framträder som filosof och vetenskapsman är *Thales* från Miletos. Hans mest kända bedrift är förutsägelsen av en total solförmörkelse i Mindre Asien, 28 maj, 585 f Kr, enligt juliansk kalender. Enligt Herodotos hade Thales förvarnat jonierna om denna förmörkelse, som inträffade strax före solnedgången. Mederna och lydierna visste ingenting om förmörkelsen, som inträffade under en strid vid floden Halys i södra Mindre Asien. Efter totaliteten avbröt de båda arméerna striderna och ingick fredsavtal.

Vid denna tid fanns inga möjligheter att förutsäga att en total solförmörkelse skulle inträffa på en bestämd geografisk plats. Med hjälp av Saroscykeln (18 år, 10 dagar och 8 timmar) kunde man endast förutsäga att det var risk för solförmörkelse en viss dag, men man visste ingenting om solförmörkelsens magnitud på en viss plats, eller om den ens skulle vara synlig där. Thales var skicklig när han beräknade datumet, men hade tur när det gällde totaliteten.

Thales formulerade också 5 geometriska teorem och presenterade en geometrisk metod att bestämma avståndet till ett skepp ute på havet. Han bestämde också pyramidernas höjd genom att invänta en tidpunkt då solens skugga var lika lång som hans egen längd. Hans antog att även pyramidernas skugga vid samma tillfälle var lika lång som deras höjd. Thales egentliga yrke var ingenjör.

Enligt Thales var jorden en platt skiva som flöt på en oändlig ocean.

Pythagoras från Samos (ca 569-475 f Kr)

Pythagoras anses vara den förste verkliga matematikern. Han lärde sig de första grunderna inom matematiken från babylonierna, men hans lärare var framförallt Thales och dennes elev Anaximander, som intresserade honom för astronomi och matematik och rekommenderade honom att åka till Egypten för att studera dessa ämnen. Pythagoras åkte till Egypten 535 f Kr där han besökte templen och deltog i diskussioner med prästerna. Han kom sedan själv att tillämpa en del av de egyptiska prästernas asketiska seder och hemlighetsmakeri omkring kunskapen. Pythagoras togs tillfånga av den babyloniske kungen Kambyzes 525 f Kr och fördes till Babylon där han hölls kvar till dess att han 520 f Kr fick återvända till Samos. Pythagoras åkte sedan till Italien och startade en filosofisk skola i Croton 518 f Kr.

Pythagoras gjorde observationer och teoretiserade inom astronomi, geometri och musik. Pythagoras sats var redan känd i Babylon cirka 1750 f Kr, men det var Pythagoras som generaliserade beviset. Han visade även att vinkelsumman i en triangel är lika med två rät vinklar och han löste vissa andragradsekvationer med geometriska metoder. Han generaliserade begreppet heltal så att antalet av en viss kvantitet blev en dimensionslös abstrakt storhet.

Inom astronomin lärde han ut att jorden var en sfär i universums centrum. Han insåg också att månbanan lutade mot jordens ekvatorsplan och var en av de första att inse att Venus som aftonstjärna och som morgonstjärna var samma planet.

Pythagoréerna ansåg att själens säte finns i hjärnan.

Anaxagoras från Clazomenae (499-428 f Kr)

Anaxagoras introducerade filosofin i Aten cirka 480 f Kr. Han var god vän med Perikles, men dennes politiska motståndare blev även motståndare till Anaxagoras. Perikles motståndare såg till att Anaxagoras blev satt i fängelse eftersom han hävdade att solen inte var en gud och att månen lyste med reflekterat ljus från solen, som han uppfattade som en glödhet sten. Han förstod centrifugalkraftens verkan och framlade hypoteser som har vissa likheter med de moderna teorierna om solsystemets uppkomst.

Anaxagoras är den förste som korrekt kan förklara mekanismerna bakom solförmörkelserna, men han anser sig tvungen att införa en extrakropp mellan jorden och månen som orsakar månförmörkelserna. När Anaxagoras tillfrågades om meningen med människans existens blev svaret: "För att observera solen, månen och himlavalvet".

Oenopides från Chios (ca 490-420 f Kr)

Oenopides är troligen den förste som bestämde ett värde på ekliptikans lutning, 24° , vilket vid denna tid stämde mycket bra med det verkliga värdet. Han bestämde också ett minsta värde på det "Stora året", det vill säga det antal hela år efter vilket solen och månen upprepar sin ställning. Oenopides värde blev 59 år, vilket motsvarar ett värde på månens synodiska period på 29.5301 dygn, vilket är mycket nära det moderna värdet på 29.5306 dygn.

Oenopides har också bidragit med två teorem som senare kom att ingå i Euklides *Elementa*.

Platon (427-347 f Kr)

Platon var född i Aten. Efter det att Sokrates hade avrättats, 399 f Kr, reste Platon till Egypten, Sicilien och Italien. I Egypten hörde han bl a talas om Atlantismyten och lärde sig hur vattenklockor fungerade, och i Italien fick han insikter i den Pythagoréiska skolans matematiska beskrivning av världen omkring oss. Han insåg att en matematisk modell är det mest exakta sättet för den mänskliga hjärnan att beskriva av verkligheten. Dessa tankar har lagt grunden för den moderna vetenskapen.

Cirka 387 f Kr återvände Platon till Aten och startade en filosofisk skola på ett område som hade tillhört en man som hette Academos, och hans namn har sedan gett upphov till begreppen *Akademi* och *akademiker*. Platon ledde denna skola till sin död 347 f Kr. Alla de kända geometrikerna, som utvecklade geometrin för ellipsen, parabeln och hyperbeln, var medlemmar av denna skola. I dialogen Timaeus utnyttjar Platon fyra av de fem liksidiga månghörningarna kuben, tetraedern, oktaedern och ikosaedern för att representera formen hos atomen, elden, luften och vattnet. Den femte, dodekaedern, fick utgöra en modell för hela universum. (Under 2004 har det framlagts en dodekaedermmodell av universum, för att tolka resultaten från WMAP-satellitens mätningar av bakgrundsstrålningen.)

I Platons universum rörde sig stjärnorna, planeterna, solen och månen runt jorden i kristallsfärer. Månens sfär var närmast jorden, sedan följde solen, Merkurius, Venus, Mars, Jupiter, Saturnus och ytterst fixstjärnorna. Han ansåg att månen lyste med reflekterat ljus från solen.

Platons *Akademi* överlevde i 900 år och lades ner 529 e Kr på order från kejsar Justinianus, som ansåg att den var hednisk.

Eudoxos från Cnidos (408-355 f Kr)

Eudoxos åkte till Italien för att studera matematik och musik för Pythagoras elever. Han bevistade också Platons föreläsningar i Aten under två månader och reste sedan vidare till Egypten. Där stannade han drygt ett år för att studera astronomi för prästerna i Heliopolis och gjorde sedan egna observationer från ett observatorium mellan Heliopolis och Cercesura. Han åkte sedan hem till Mindre Asien och bildade en egen mycket populär skola i Cyzicus vid stranden av Marmarasjön. Eudoxos besökte för andra gången Platons Akademi i Aten, i sällskap med några lärjungar, cirka 368 f Kr. Han var en skickligare matematiker än Platon och hade ingen större respekt för dennes analytiska förmåga.

Eudoxos återvände sedan hem till Cnidos där han byggde ett observatorium. Från Cnidos observerade han den sydliga ljusstarka stjärnan Canopus. Han publicerade sina observationer av stjärnbildernas upp- och nedgång från Heliopolis och Cnidos i två böcker som har försvunnit, men som kommenterats av Hipparchos, se nedan.

Inom matematiken har Eudoxos bl a infört definitioner som gjort det möjligt att studera proportionaliteter mellan sträckor med irrationella längder.

Eudoxos är mest känd för sin planetteori, *Om hastigheter*, som nu är förlorad. Han ansåg liksom sina Pythagoréiska läromästare att sfären hade den mest perfekta formen av alla kroppar. Han beskriver planeternas rörelser med hjälp av ett antal koncentrisk sfärer centrerade kring jorden medelpunkt, och som roterar kring axlar som lutar i förhållande till varandra. Dessa axlar var inte fixerade i rummet utan kunde rotera med konstant hastighet och i motsatt riktning. Han kunde framgångsrikt beskriva en planets retrograda rörelser med hjälp av två roterande sfärer med rotationsaxlar som lutar mot varandra, och roterar i motsatt riktning, och en tredje sfär som ansvarade för planetens rörelse i förhållande till bakgrundsstjärnorna.

Aristoteles, se nedan, beskriver Eudoxos planetsystem med 27 sfärer i sin bok *Metafysik*. Eudoxos kan ha uppfattat sin modell som enbart en metod att beskriva och matematiskt beräkna himlakropparnas rörelser, men Aristoteles uppfattade den som en fysisk realitet.

Aristoteles (384-322 f Kr)

Aristoteles föddes i en stad i nordöstra Grekland och blev anlitad som livläkare åt kung Amyntas III av Makedonien, som var Alexander den stores farfar. Aristoteles hade hela tiden kontakt med kungahuset i Makedonien och blev även privatlärare åt Alexander den store. Han blev student vid Platons Akademi i Aten år 367 f Kr, när han var 17 år gammal. Akademin leddes då av Eudoxos eftersom Platon hade rest till Syrakusa. Ganska snart blev Aristoteles själv lärare vid Akademin.

Alexander understödde Akademin i Aten, men när Aristoteles inte blev vald till dess högste ledare såg han till att Aristoteles 335 f Kr kunde starta en egen skola i Aten under namnet *Lyceum*. Den nya skolan hade en bredare inriktning än Akademin och lade tonvikten mera på ett detaljerat studium av naturen. Hans beskrivning av stjärnornas, planeternas, solens och månens rörelser vilade på Eudoxos matematisk modell, men han framlade även egna beskrivningar av kometernas natur i sin bok om *Meteorologi*. Inom filosofin utvecklade han bl a logiken.

Aristoteles fysik och beskrivning av kroppars rörelser kom att gälla ända fram till dess att Galileo och Newton formulerade sina rörelselagar. När kristendomen och islam senare etablerades som dominerande kulturbärare upptogs Aristoteles läror som en viktig grund för den nya världsbilden.

Callippus från Cyzicus (ca 370-310 f Kr)

Callippus studier började vid Eudoxos skola i Cyzicus och hans bevarade observationer har gjorts från stränderna av Hellesponten. År 330 f Kr började han arbeta tillsammans med Aristoteles i Aten. Callippus hade gjort exakta mätningar av årstidernas längd och upptäckte en 76-årscykel, med 940 månåder, som kunde användas för att beskriva solens och månens cykler. Ptolemaios ger en detaljerad beskrivning av denna cykel i *Almagest* där han skriver att 50:e året i den första cykeln sammanfaller med 44:e året efter Alexander den stores död 323 f Kr. Det innebär att denna cykel startade 330 f Kr. ($323 \text{ f Kr} - 44 + 50 = 329 \text{ f Kr?}$).

Callippus 76-årscykel bygger på fyra 19-åriga Metoncykler, vilket motsvarar 940 månåder. Meton gjorde en noggrann bestämning av sommarsolståndet från observationer i Aten år 432 f Kr. Enligt Metons schema för växlingen mellan korta och långa månader gick det 440 korta månader, med 29 dygn, och 500 långa månader, med 30 dygn, på $4 \times 19 \text{ år} = 76 \text{ år}$. Callippus förkortar de 940 månadernas längd med en dag genom att införa 441 korta månader och 499 långa månader på 76 år med längden 365.25 dygn. Detta teoretiska räknescema för relationen mellan solens och månens cykler kom att användas av alla astronomer från och med 330 f Kr.

Callippus var sin tids främste astronom. Han införde ett system med 34 sfärer för att beskriva himlakropparnas rörelser, vilket ytterligare ökade noggrannheten jämfört med de 27 sfärerna i Eudoxos modell. Solen, Månen, Merkurius, Venus och Mars hade fem sfärer vardera, medan Jupiter och Saturnus hade fyra sfärer och fixstjärnorna en sfär. Callippus upptäckte att årstidernas längd var olika långa, räknat mellan solstånden och dagjämningarna, och han införde därför två extra sfärer för att beskriva solens variabla rörelse.

Callippus¹ 76-årscykel och hans matematiska modeller bidrog starkt till att höja noggrannheten hos senare astronomiska teorier.

Autolycus från Pitane (ca 360-290 f Kr)

Två av Autolycus böcker, *Om den rörliga sfären* och *Om uppgång och nedgång*, har överlevt på originalspråket grekiska. De är troligen de äldsta bevarade matematiska och astronomiska originaltexterna. Några av Euklides teorem uppträder för första gången hos Autolycus.

Autolycus var en stark förkämpe för Eudoxos teori för planetsystemet med ett antal rörliga koncentrisk sfärer med centrum i jordens medelpunkt.

Man hade dock snabbt upptäckt två brister i denna teori. Det saknades nämligen en förklaring till den observerade variationen i ljusstyrka hos Venus och Mars och varför solförmörkelserna ibland kunde vara totala och ibland ringformiga. Autolycus gjorde stora

¹ Det kan tilläggas att en ännu mera exakt relation mellan den verkliga synodiska omloppstiden för månen och årets längd, angivet som 365.25 dygn, användes i Uppsala på 1600-talet, enligt Rudbecks *Atlantica* del II, från 1689. De gamla upplandsbönderna visste att år 1689 skulle Distingsfullmånen infalla en dag tidigare än den gjort de senaste drygt 300 åren. När Rudbeck frågade en 90-årig bonde hur man kunde veta detta fick han till svar att på hans runstav hade en av hans förfäder ristat in en halvmåne på dagen för Distinget för 300 och några år sedan, och vilket datum och år det var, och därför visste han att i år skulle Distingsfullmånen infalla en dag tidigare.

Jag insåg att det måste vara en $16 \times 19 \text{ år} = 304 \text{ år}$ lång cykel, vilket bevisades genom det faktum att det visade sig att Distingsfullmånen var totalt förmörkad år 1385, dvs exakt 304 år före 1689. Denna cykel har inte använts under antiken och finns inte omnämnd explicit i Ptolemaios *Almagest*. Dess äldsta ursprung är okänt, men den 90-åriga bonden säger att den uppkallats efter en gammal kung som hette Aun. Den ende kände fornnordiske kungen med detta namn är Ane den gamle, som enligt historiska rekonstruktioner har regerat i Uppsala cirka 450-490. Om man subtraherar 1689 med $4 \times 304 \text{ år}$ hamnar man mitt i denna period.

För att Aun skulle kunna formulera denna regel måste minst en tidigare cykel ha observerats (se G. Henriksson: "Riksbloten och Uppsala högar", *Tor* 27:1, sidorna 337-394, Uppsala 1995 och "The pagan Great Midwinter Sacrifice and the 'royal' mounds at Old Uppsala", Uppsala Astronomical Observatory Report No. 59, *Calendars, Symbols, and Orientations: Legacies of Astronomy in Culture, Proceedings of the 9th annual meeting of the European Society for Astronomy in Culture (SEAC)*, Stockholm 2001, sidorna 15-25).

ansträngningar att försöka förklara dessa fenomen inom ramen för Eudoxos teori, men han kunde inte finna någon godtagbar förklaring.

Eudemos från Rhodos (ca 350-290 f Kr)

Eudemos är den förste författaren som skrivit verk om matematikens och astronomins historia. Han var en av Aristoteles två närmaste vänner. När Aristoteles kände att han måste utse en efterträdare som ansvarig för sin skola, *Lyceum*, valde han den andre vännen, Theophrastos från Lesbos. Eudemos lämnade då Aten och bildade sedan en egen skola, troligen på Rhodos. Det är känt att Eudemos skrev två eller flera mycket lästa böcker om *Aritmetikens Historia*, *Geometris Historia* och *Astronomins Historia*. Originalböckerna är förlorade, men mycket av innehållet har överlevt genom citat hos senare författare. I *Astronomins Historia* beskrev Eudemos bl a Thales från Miletos förutsägelse av den totala solförmörkelsen 585 f Kr och Eudoxos system med koncentrisk sfärer.

Tack vare Eudemos har stora delar av Aristoteles verk kunnat bevaras till eftervärlden. Han förde nämligen detaljerade anteckningar från Aristoteles föreläsningar och samlade material så att dennes verk kunde publiceras.

Euklides från Alexandria (ca 325-265 f Kr)

Euklides var kanske främst den store samlaren och sammanställaren av geometriska och matematiska satser, som han sedan homogeniserade och gav en slutgiltig form, som skulle bli bestående ända fram till vår tid. Hans arbeten lade grunden till hur matematiska problem skulle formuleras och lösas på ett rigoröst sätt.

De satser som finns i hans magnifika verk *Elementa* har haft stor betydelse för lösningar av astronomiska, fysikaliska, och vardagliga problem.

Aristarchos från Samos (ca 310-230 f Kr)

I vår tid framstår Aristarchos som en lysande vetenskaplig pionjär, som inte uppskattades efter förtjänst av sin samtid. Han var både matematiker och astronom och är mest känd för att vara den förste som föreslog att solen befann sig i universums centrum och inte jorden. Det framgår av det så kallade *brevet till Werner* att Nicolaus Copernicus kände till Aristarchos arbeten när han formulerade sin egen heliocentriska världsbild. (Detta brev har klistrats upp på pärmarnas insidor i Uppsala Astronomiska Observatoriums exemplar av andra upplagan av hans bok om *Himlakropparnas rörelser*.) Aristarchos är också känd för sitt pionjärarbete när det gällde att bestämma avståndet till solen och månen och dessa himlakroppars storlek. Han uppfann också ett solur som bestod av en halvsfärisk skål med en visare som kastade skugga på en ingraverad skala.

De samtida grekiska astronomerna betraktade Aristarchos heliocentriska världsbild som en ren spekulering som saknade observationella bevis. Om jorden verkligen hade rört sig i en bana runt solen så skulle man kunna se hur stjärnorna flyttade sig fram och tillbaka på himlen under loppet av ett år på grund av parallaxeffekten. När Aristarchos hävdade att parallaxen inte kunde observeras eftersom stjärnorna låg så långt borta var detta ett obevisbart påstående. Idag vet vi att Aristarchos hade rätt när han antog att stjärnorna låg så långt bort att parallaxen inte kunde mätas med den tidens instrument. Aristarchos egen beskrivning av sin heliocentriska världsbild finns inte bevarad, men den har återgivits av Arkimedes i hans bok *Sandräknaren*.

Aristarchos ansåg liksom Heraclides att stjärnhimlens dagliga rörelse berodde på att jorden roterade kring sin axel ett varv på ett dygn.

Det enda originalarbetet av Aristarchos som bevarats till eftervärlden är *Om solens och månens storlek och avstånd*. Hans resultat baserades på en direkt uppmätning av vinkeln mellan solen och månen när det var halvmåne och en geometrisk beräkning i den rätvinkliga

triangel som bildades av jorden månen och solen. Aristarchos fann att solen låg 20 gånger längre bort än månen, men det rätta svaret är att solen ligger nästan 400 gånger längre bort. Metoden var i princip helt riktig, men det var i praktiken mycket svårt att genomföra mätningarna tillräckligt exakt.

Arkimedes från Syrakusa (287-212 f Kr)

Arkimedes far var astronom och hette Phidias. Efter en resa till Egypten uppfann han *Arkimedes' skruv*, som användes än idag för att pumpa upp vatten vid enkla bevattningsanläggningar. Under denna resa lärde han sig matematik vid Euklides skola i Alexandria och skickade sina resultat till sina vänner där, framförallt Conon. Han studerade också vattnets lyftkraft på nedsänkta föremål och formulerade *Arkimedes' princip* och formulerade en lag för hävstänger.

Arkimedes betraktas som en av alla tiders störste matematiker och uppfann en metod att integrera fram ytor, volymer och tyngdpunkter hos olika kroppar. Han bestämde ett värde på π genom att bilda medelvärde på omkretsen av en omskriven och en inskriven 96-hörning.

I sin bok *Sandräknaren* föreslår han ett system att skriva stora tal och med detta kunde han uttrycka tal av storleken 8×10^{63} enligt vårt moderna skrivsätt. I denna bok omnämns också Aristarchos heliocentriska världsbild, se ovan.

Det finns uppgifter om att Arkimedes hade utvecklat en metod att bestämma avstånden till himlakropparna, men detaljer saknas.

Eratosthenes från Cyrene (276-194 f Kr)

Eratosthenes blev den tredje föreståndaren för biblioteket i Alexandria. Detta bibliotek baserades ursprungligen på kopior av böcker i Aristoteles bibliotek i Aten och kom att omfatta hundratusentals papyrusrullar med den tidens samlade vetande.

Eratosthenes är mest känd för att ha bestämt jordens omkrets med en oväntat stor noggrannhet. Denna mätning publicerade han i sin bok *Om mätningarna av jorden*, som tyvärr har försvunnit. Vi känner emellertid till några detaljer av denna bok genom beskrivningar hos Cleomedes, Theon av Smyrna och Strabo.

Eratosthenes jämförde solskuggans höjdvinkel vid sommarsolståndet i Syene (nuvarande Aswan vid Nilen) och i Alexandria. Han antog att solens avstånd var så stort att de infallande strålarna var parallella och kunde därigenom räkna ut skillnaden i latitudvinkel mellan dessa båda orter. Med hjälp av avståndet mellan Syene och Alexandria kunde han sedan räkna ut jordens hela omkrets till 250.000 stadier. När vi skall jämföra med våra mätningar måste vi veta längden av en stadie. Från det värde på längden av en stadie som har givits av Plinius, 157.2 m, får man omkretsen till 393300 km, vilket är mycket nära 40075 km, som gäller om jordens ekvatorsradie är 6378.1 km. Från mätningar gjorda under månförmörkelser beräknade Eratosthenes solens avstånd till 80400000 stadier, eller 126 miljoner km, och månens avstånd till 780000 stadier, eller 126000 km. De moderna värdena är 149.6 miljoner km respektive 384400 km.

Enligt Ptolemaios gjorde Eratosthenes också en mycket exakt uppmätning av ekliptikans lutning mot ekvatorn och fick värdet $23^\circ 51' 15''$.

Eratosthenes gjorde också flera andra bidrag till vetenskapens framsteg. Han utarbetade bl a en kalender med skottår och lade grunden till en världsomfattande tideräkning där alla viktiga historiska händelser kunde dateras i relation till en gemensam epok. Han valde grekernas belägring av Troja som utgångspunkt.

Det finns också uppgifter om att han sammanställt en stjärnkatalog med 675 stjärnor.

Apollonius från Perga (ca 262-190 f Kr)

Apollonius var känd som den store geometrikern och hans arbeten har haft mycket stor betydelse för matematikens utveckling. Detta gäller kanske framför allt de 8 böckerna om *Kägelsnitten*, där han inför begreppen parabel, ellips och hyperbel. Dessa kurvor uppstår när ett plan skär en konisk yta. Apollonius vidareutvecklade många av Euklides teorem och skrev ytterligare minst 6 böcker om matematik och geometri. Han förbättrade också Arkimedes' närmevärde på π .

I boken *Om brännglas* visar han att parallella strålar inte reflekteras till ett gemensamt fokus av en sfärisk spegel, som man tidigare trott, och diskuterar istället egenskaperna hos fokus för paraboliska speglar.

Apollonius var en av grundarna av den grekiska matematiska astronomin, som använde geometriska modeller för att beskriva planeternas rörelser. Ptolemaios skriver i *Syntaxen* att Apollonius införde ett system av excentriska och epicykliska rörelser för att förklara planeternas skenbara rörelser på himlen.

Apollonius använde också sina kunskaper om kägelsnittens egenskaper till praktiska ändamål och tillverkade bl a ett solur, där timlinjerna inristats på en konisk yta, vilket gav ökad noggrannhet vid avläsningen.

Hipparchos från Rhodos (190-120 f Kr)

Hipparchos föddes i Nicaea, nuvarande Iznik, i Bithynia, i nordvästra Turkiet. Hans berömmelse var så stor redan under antiken att fem olika romerska kejsare, mellan 138-253 e Kr, präglade mynt med en bild av Hipparchos när han sitter framför en glob.

Hans likaså berömde efterföljare Ptolemaios skriver att han observerade från Bithynia, men de flesta observationer som direkt har tillskrivits Hipparchos har utförts från norra Rhodos. En av hans observationer utfördes i Alexandria 146 f Kr, men de övriga observationerna, som gjordes mot slutet av hans karriär, fram till 127 eller 126 f Kr, utfördes från Rhodos.

Trots att Hipparchos var en så betydande astronom och matematiker har endast ett av hans verk överlevt nämligen. Detta är troligen inte något av hans mest betydande arbeten, men det är viktigt att kunna se exempel på hans forskarstil.

Jag har tillsammans med docent Mary Blomberg, Antikens Kultur och Samhällsliv, i Uppsala, gjort en analys av detta verk. Hipparchos anklagar Eudoxos för att lämna felaktiga uppgifter om när olika par av stjärnor går upp och ned, vilket vi förklarar med att dessa uppgifter är så gamla att de har glidit bort från de angivna lägena genom precessionen. Aratus hade skrivit ett populärt poem med råd till seglare angående väder och vind vid olika årstider, *Fenomen*, baserat på Eudoxos definitioner av stjärnbilderna. Enligt Aratus har de äldsta kunskaperna i ämnet bl a kommit från Kreta, som hade sin kulturella höjdpunkt på Minoernas tid, ca 2000 f Kr. Vi har genom beräkningar av precessionen kunnat spåra några av de äldsta förlagorna till reglerna för stjärnbildernas uppträdande vid horisonten ända tillbaka till 2200 f Kr, i detta verk ("New arguments for the Minoan origin of the stellar positions in Aratos' *Phainomena*", by Göran Henriksson and Mary Blomberg, pp. 303-310, in *Proceedings of the International Conference Oxford VI & SEAC99*, La Laguna, Tenerife 1999).

Enligt min uppfattning har Hipparchos troligen skrivit *Kommentarer till Aratus och Eudoxos* innan han själv hade upptäckte precessionen.

Det mesta vi vet om Hipparchos vetenskapliga insatser har bevarats genom att de kommenteras i Ptolemaios *Almagest*. Tyvärr skriver Ptolemaios på ett sådant sätt att han tycks förutsätta att läsaren har Hipparchos originalverk framför sig när han läser.

Inom trigonometrin gjorde Hipparchos en viktig insats genom att framställa en tabell över kordornas längd i en cirkel, en tidig motsvarighet till trigonometriska tabeller. Han använde babylonernas indelning av cirkeln i 360° i Grekland.

Hipparchos beräknade året längd med ett fel på endast 6.5 minuter och upptäckte dagjämningspunkternas precession. Hans värde på den årliga precessionen var 46", vilket inte skiljer sig så mycket från det moderna värdet på 50.26", och är mycket bättre än det värde, 36", som Ptolemaios beräknade 300 år senare. Hipparchos upptäckte precessionen när han jämförde sina egna observationer med äldre observationer, nedskrivna av babylonierna, Meton 432 f Kr och Aristarchos 280 f Kr.

Hipparchos stjärnkatalog med cirka 850 stjärnor färdigställdes 129 f Kr. Det har framkastats misstanken att Ptolemaios egen stjärnkatalog delvis skulle bestå av Hipparchos observationer positioner omräknade till Ptolemaios tid. Det har varit svårt att i *Almagest* urskilja ur vilka bidrag som Hipparchos har gjort och vilka som skall tillskrivas Ptolemaios.

I *Kommentarer till Aratus och Eudoxos* använder Hipparchos olika sätt att ange stjärnornas positioner och blandar ekvatoriella och ekliptikala koordinater. Dessutom tycks hans positioner baseras på observationer som har gjort vid två olika tillfällen, med cirka 10 års mellanrum, och med olika noggrannhet.

Hipparchos gjorde också en omfattande studie av månens rörelser. Han kände till de värden på månens medelhastighet i longitud, latitud och anomal, och den synodiska månadens längd, som babylonierna hade bestämt, men ville göra egna bestämningar baserade på nya observationer. Han kom fram till att de mest exakta resultaten skulle kunna erhållas om man studerade par av förmörkelser. Enligt hans beräkningar skulle dessa uppträda med en period på 126007 dygn och 1 timme.

Hipparchos beräknade avståndet till månen genom analys av data från observationer av en förmörkelse 14 mars 190 f Kr, juliansk kalender. Han fann att avståndet låg mellan 59 och 67 jordradier. Osäkerheten berodde på att han inte kände till avståndet till solen. Den övre gränsen, 67 jordradier, motsvarar den undre gränsen för avståndet till solen, medan 59 jordradier gäller om solen ligger på oändligt avstånd från jorden.

Hipparchos gjorde inte enbart observationer och beräkningar som ledde fram till mycket exakta värden på månens olika perioder och hastigheter. Han framlade även en teoretisk modell för solens och månens rörelser baserad på epicykler, men han gjorde inga försök med epicykelmodeller för planeterna.

Posidonius från Rhodos (135-51 f Kr)

Ingen av Posidonius originalböcker har överlevt, men vi känner till en del av hans arbeten genom Cleomedes bok *Om himlakropparnas cirkulära rörelser*, som till stora delar bygger på Posidonius teorier. Cleomedes beskriver Posidonius metod att bestämma jordens omkrets genom att observera Canopus från Rhodos och Alexandria. Från Rhodos har han observerat att Canopus tangerar horisonten medan den når höjden 7° 30' i Alexandria. Han använde 5000 stadier som avstånd mellan Rhodos och Alexandria, vilket resulterade i ett värde på 24000 stadier för jordens omkrets. Att detta värde blev så bra berodde på att två fel tar ut varandra. Om han hade tagit hänsyn till refraktionen, hade skillnaden i höjdinkel blivit 5° 15', men detta kompenseras av att han använt ett för stort, 5000 stadier, istället för 3740 stadier, som avstånd mellan de båda orterna. Eratosthenes värde 25200 stadier, uppmätt 150 år tidigare, är ett bättre värde än det som Posidonius uppmätte med sin metod.

Posidonius beräknade också solens och månens storlek och avstånd, men inte heller dessa värden är lika bra som hans föregångares resultat, delvis beroende på att han betraktat månens skugga som cylindrisk istället för konisk.

Geminus (ca 10 f Kr - 60 e Kr)

Mycket talar för att Geminus huvudsakligen bodde på Rhodos under sitt verksamma liv. Många astronomer verkade på Rhodos, vars latitud var den tidens referenslatitud för astronomiska observationer, liksom Greenwich är vår tids referenslongitud. (Dateringen av

Geminus levnadsår är omtvistad och det finns en alternativ datering av en Isis-festival som förskjuter hans tid 120 år bakåt.)

Geminus skrev många astronomiska böcker och gjorde även en historik av astronomin utveckling från babylonierna till Callippus. Bland dessa verk finns också en elementär bok *Isagoge* eller *Introduktion till Astronomin*, som baseras på Hipparchos arbeten.

Boken baseras mycket lite på matematisk astronomi och innehåller huvudsakligen beskrivningar av stjärnbilderna, variationen av dagens och nattens längd på olika latituder, när de olika stjärntecknen i Zodiaken går och ned och månmånadens längd. Han förklarar också växlingen av månens faser och mekanismen bakom sol- och månförmörkelserna liksom planeternas rörelser. Det är först i det sista kapitlet som matematiken kommer in och där ger han viktiga bidrag till den grekiska astronomin genom att införa begreppet medelrörelse. Han låter en aritmetisk funktion representera månens rörelse i longitud.

När Geminus beskriver stjärnorna tillägger han att ... vi får inte förutsätta att alla stjärnorna ligger på samma yta, snarast finns några av dem högre och några lägre.

I *Matematikens teori* gör han en logisk indelning av matematiken begrepp såsom: *hypoteser*, *teorem*, *postulat*, *axiom*, *linje*, *yta*, *figur*, *vinkel* och gör en historisk översikt över dessa begrepps användning. Han skriver att ordet *matematik* användes först av Pythagoras för att beteckna geometri och aritmetik, vetenskaper som arbetar med det rena, eviga och oföränderliga, men att senare författare även infört begreppet *tillämpad matematik*, som beteckning för ämnen, som trots att de är teoretiska, ändå behandlar företeelser i sinnevärden, såsom astronomi och optik.

Heron från Alexandria (ca 10 f Kr-75 e Kr)

Heron levnadsår är osäkra och vissa författare vill senarelägga hans liv med 100 eller 200 år. Den här använda dateringen bygger på vetenskapshistorikern Otto Neugebauers upptäckt (1938) att Heron omtalar en nyligen inträffad förmörkelse i Alexandria, vilken kan dateras till 13 mars år 62 e Kr, klockan 23.00.

Heron undervisade vid museet i Alexandria och hans bevarade verk liknar underlaget till föreläsningar. Hans bok *Om Dioptra* handlar om lantmäteri med teodolit. Den innehåller ett kapitel om astronomi och beskriver hur man kan bestämma avståndet mellan Rom och Alexandria genom att jämföra den lokala tidpunkten för de olika faserna av månförmörkelser som kan observeras på båda orterna. I boken *Catoprica* hävdar Heron att vår syn är ett resultat av att ljus utsändes från ögonen. Han trodde att ljusstrålarna färdades med oändlig hastighet.

Heron har skrivit fyra böcker om vattenur och en arabisk skrift från 900-talet återger hans beskrivning av hur man använder ett *astrolabium*.

Efter tolkningen av de babyloniska kilskriftstexterna har det visat sig att många av de matematiska metoderna som har tillskrivits Heron har hämtats direkt från den babyloniska matematiken. Den metod han beskriver för beräkning av kvadratroten ur ett tal var redan känd av babylonierna 2000 år tidigare.

Cleomedes (första århundradet e Kr)

Dateringen av Cleomedes levnad är mycket osäker. Han är känd för sin bok *Om himlakropparnas cirkulära rörelser* med utförliga redogörelser främst för Posidonius bidrag till denna teori. Det är också genom denna bok som Eratosthenes metod att bestämma jordens omkrets har bevarats.

Boken är populärt skriven och uppfattas delvis som ett angrepp på epikuréerna som hävdade att solen inte är större än den ser ut, det vill säga den är inte större än en fot i diameter! Han lägger ner stor möda på att visa att detta är fel. I denna bok hävdar han också att stjärnornas verkliga storlek kan vara lika stor som solen, eller till och med kan vara större än solen och att jorden, sedd från solen, i bästa fall skulle synas som en liten stjärna.

Cleomedes framställning av månförmörkelsernas koniska skugga visar på en djupare förståelse av fenomenet. Han förklarar också helt korrekt att rapporterna om att det finns månförmörkelser där både solen och månen samtidigt har varit synliga över horisonten kan förklaras med den atmosfäriska *refractionen*.

Theon av Smyrna (ca 70-135 e Kr)

Theons viktigaste verk är *Expositio rerum mathematicarum ad legendum Platonem utilium*. Denna bok, som var ämnad som introduktion till studiet av Platon, försöker påvisa samband mellan primtalen, geometriska tal såsom kvadrater, serier, musik och astronomi.

Han gjorde observationer av Merkurius och Venus mellan 127-132 e Kr. Från dessa observationer bestämde Theon största vinkeln mellan solen och dessa båda inre planeter. Ptolemaios nämner fyra av observationerna, de som utförts 127, 129, 130 och 132 e Kr.

Den viktigaste delen av hans ovannämnda bok är den astronomiska delen där han bl a lär ut att jorden är sfärisk och att bergens höjd är försumbara jämfört med hela jordens storlek. Han nämner också konjunktioner, förmörkelser, ockultationer och passager.

Claudius Ptolemaios (ca 85-165 e Kr)

Ptolemaios var en av sin tids mest inflytelserika grekiska astronomer och geografer och han framlade en geocentrisk teori för planetsystemet som kom att förbli allena rådande i 1400 år.

Mycket lite är känt om hans liv och det finns inga bevis för att han någonsin lämnade Alexandria. Han utförde alla sina observationer därifrån och de första utfördes 26 mars, 127 och de sista 2 februari, 141. Ptolemaios använde även observationer utförda av andra astronomer, både gamla babyloniska och mera moderna såsom de från *Theon matematikern* (troligen Theon från Smyrna).

Alla Ptolemaios viktigaste verk har överlevt. Det allra viktigaste är *Almagest* som består av 13 böcker. Boken hette från början *Matematisk sammanställning*, men denna titel ersattes snart med *Den största sammanställningen* som vid översättning till arabiska blev ”*al-majisti*” som efter översättning till latin blev *Almagest*.

Almagest är hans tidigaste verk och där publiceras en detaljerad matematisk framställning av den geocentriska teorin för solens, månens och planeternas rörelser. Hans viktigaste egna bidrag är den detaljerade beskrivningen av de enskilda planeternas rörelser. Framställningen i *Almagest* överträffades inte förrän Nicolaus Copernicus år 1543 publicerade sin heliocentriska teori i *De revolutionibus orbium coelestium*.

Ptolemaios hänvisar till Aristoteles när han lägger fram sin geocentriska teori för universum. I denna befinner sig jorden i centrum, omkring vilken fixstjärnorna roterar ett varv varje dygn och som för med sig de olika sfärerna för solen, månen och planeterna. Han använde en geometrisk modell för solen, månen och planeterna där dessa rörde sig i flera kombinerade cirkulära rörelser som kallas epicykler. För att kunna beräkna rörelserna införde han en trigonometrisk metod som baseras på kordafunktionen, Crd, som är relaterad till sin a genom sambandet $\sin a = \text{Crd}(2a)/120$. Han utvecklade formler för Crd-funktionen som motsvarar sambanden mellan $\sin(a+b)$, $\sin(b-c)$ och $\sin(a/2)$ och gör tabeller för Crd-funktionen med $\frac{1}{2}$ grads intervall, som upptar två av de tretton böckerna i *Almagest*.

När han formulerade sin teori för solen jämförde han sina egna observationer av dagjämningpunkterna med motsvarande observationer som utförts av Hipparchos ca 130 f Kr och Meton 432 f Kr. Han kom till samma resultat som Hipparchos, när det gällde att det tropiska årets längd är $1/300$ del kortare än $365 \frac{1}{4}$ dygn. Uttryckt i bråkdelar av hela dygn borde han ha använt $1/128$ dygn. Det fel som härmed introduceras påverkar resten av hans arbete. Det är märkligt att han inte kunde åstadkomma ett bättre värde än Hipparchos, som endast hade hälften så lång tidsbas, eftersom Ptolemaios fel motsvarade 28 timmar fel vid

bestämningen av dagjämningspunkterna. Det ligger nära till hands att misstänka att han helt enkelt bara citerat Hipparchos' värde.

I bok tre beskriver han solens rörelse som en rörelse med konstant hastighet längs en cirkel, men cirkelns centrum sammanfaller inte med jorden centrum utan ligger på ett avstånd från detta centrum, som han kallar excentricitet.

Månens rörelser behandlas i bok fyra och fem. Han följer Hipparchos framställning när det gäller perioden för månen att återvända till samma longitud, anomal och latitud och diskuterar månens synodiska omloppstid, den synodiska månaden. I bok fem ger han slutligen en markant förbättrad framställning av månens rörelse jämfört med Hipparchos.

Efter att ha infört dessa förbättringar är han i stånd att i bok sex ge en mera exakt teori för beräkningar av förmörkelser. I bok sju visar han att fixstjärnorna alltid befinner sig i samma relation till varandra och i bok åtta diskuterar han precessionen. Han får ett sämre värde på precessionen än Hipparchos trots att hans tidsbas var dubbelt så lång. Detta beror på hans tidigare fel vid bestämningen av det tropiska årets längd. Större delen av bok sju och åtta upptas av hans stjärnkatalog med ca 1030 stjärnor.

De sista fem böckerna behandlar planeteteorin. Detta är hans största egna bidrag eftersom det inte tidigare hade funnits en tillräckligt detaljerad modell för att beskriva planeternas komplicerade rörelser. Planeterna banor består av cirkelrörelse på en epicykel, som rör sig kring jordens centrum i en excentrisk rörelse. Ptolemaios stora förbättring beror på att han låter epicykeln röra sig med konstant hastighet runt en punkt som han kallar equant, och som är symmetriskt placerad på motsatta sidan av jordens centrum.

Ptolemaios matematiska modell för planeternas rörelse hade kalibrerats mot observationer på ett sätt som inte tidigare hade förekommit. Den var komplicerad att använda, men den beskrev planeternas rörelser på tillfredställande sätt. För att underlätta beräkningarna fanns hjälptabeller insprängda på olika ställen i *Almagest*, men han publicerade även en separat utgåva som hette *Hjälptabeller*. Planeteteorin var Ptolemaios mästerverk.

Ptolemaios skrev också en populärvetenskaplig bok i två band, *Planethypotesen*, där han ersätter de geometriska formlerna med mekaniska modeller. Han skrev också en separat bok om astrologi, där himlakropparnas påverkan på människorna beräknas med hjälp av positionerna från *Almagest*.

I boken *Analemma* diskuterar han hur man kan konstruera solur genom olika typer av projektioner på himlavalvet. *Planisphaerum*, behandlar stereografiska projektioner av himlavalvet på ett plan.

Ptolemaios skrev också det magnifika verket, *Geografi*, i åtta band, där han försökte kartlägga den då kända världen. Han gav longitud och latitud för de viktigaste orterna, men det är inte förvånande att precisionen var mycket dålig i synnerhet för orter utanför det romerska riket.

Verket *Optik*, består av fem band i vilket Ptolemaios studerar färger, refraktion, reflektion, och egenskaper hos speglar av olika form.

Ptolemaios *Almagest* var ett odiskutabelt referensverk ända fram till Tycho Brahes tid. Genom jämförelser med egna observationer upptäckte dock Brahe ett systematiskt fel på 1° i longitud i Ptolemaios stjärnkatalog i *Almagest*. Ptolemaios hävdar att katalogen bygger på egna observationer, men Brahe tyckte att detta var ett alldeles för stort fel för att enbart vara observationsfel och anklagade Ptolemaios för att ha hämtat stjärnkoordinaterna direkt från Hipparchos stjärnkatalog och sedan genom en korrektion för precessionen transformera observationerna till sin egen epok. Felet skulle ha uppkommit genom en felaktig korrektion för precessionen. Det är svårt att bevisa att denna misstanke är befogad eftersom Hipparchos stjärnkatalog inte har överlevt i sin helhet. Det finns dock en viss möjlighet att jämföra en del stjärnpositioner som Hipparchos har givit i sin *Kommentar till Aratus och Eudoxos*. En sådan

begränsad jämförelse styrker inte Brahes anklagelser. En mindre del av Ptolemaios stjärnkatalog tycks dock vara hämtad från Hipparchos katalog.

Diskussionen om i vilken omfattning Ptolemaios har hämtat sina observationer från Hipparchos har fortsatt ända in i vår tid.

Proclus Diadochus (411-485 e Kr)

Proclus fick sin första utbildning i filosofi och matematik i Alexandria, men fortsatte sedan studierna vid Platons *Akademi* i Aten. Han avancerade hela vägen från student, via lärare till chef för *Akademien* och ansågs vara en mycket lärd man, men var samtidigt också mystiker.

Proclus *Kommentar till Euklides* är vår huvudsakliga källa till kunskap om de grekiska geometrikerna och utgör troligen bakgrundsmaterialet till hans undervisning i geometri vid *Akademien*. Han hade tillgång till många böcker som numera är helt eller delvis förlorade och han har bl a haft tillgång till Eudemos bok *Geometrins historia* och verk av Geminus som nu är förlorade.

Proclus skrev också *Hyptyposis*, som är en introduktion till Hipparchos' och Ptolemaios' astronomiska teorier med den matematiska teorin för planetrörelserna baserad på epicykler och excentriciteter. Han bevisar att epicykelteorin är ekvivalent med excentricitetsteorin. Enligt epicykelteorin befinner sig jordens mittpunkt i centrum för en cirkel på vilken det finns en mindre cirkel längs vilken planeterna rör sig. Enligt excentricitetsteorin rör sig planeterna längs en cirkel vars centrum inte sammanfaller med jordens mittpunkt.

Vid sin astronomiundervisning demonstrerade Proclus hur Herons vattenklocka kunde användas för att bestämma solens skenbara diameter genom mätningar vid dagjämningspunkterna. Man sparar först det vatten som rinner genom klockan under tiden som solskivan passerar horisonten och sedan samlar man allt det vatten som passerar till nästa soluppgång. Vattenmängdernas vikter motsvarar soldiameterns bråkdel av ett helt varv.

Simplicius (ca 490-560 e Kr)

Simplicius studerade i Alexandria för Ammonius Hermiae, som varit elev till Proclus. Han fortsatte sedan sina studier i Aten för nyplatonikern Damascius, som blev chef för *Platons Akademi* ca 520. År 529 stängde kejsar Justinianus alla så kallade hedniska skolor inklusive *Platons Akademi*. Samtidigt utkämpade denne kejsare ett krig mot Persien. Som en reaktion flyttade Damascius, Simplicius och fem andra medlemmar av *Akademien* till Persien för att istället tjäna hos den persiske kungen Khosrow, som var en stor gynnare av kultur. Efter ett fredsavtal 532 kunde emellertid Simplicius återvända till Aten. I fredsavtalet ingick nämligen att medlemmarna av *Akademien* skulle få återvända till Aten och att ingen fick med tvång påverka deras trosuppfattning.

Simplicius skrev kommentarer till Aristoteles verk. Han började med *De Caelo*, som är en detaljerad beskrivning av Eudoxos teori om koncentrisk sfärer och Callippus senare kompletteringar. Han har hämtat detaljerna från Eudemos bok *Astronomins historia*, som han kunnat studera via Sosigenes direkta läsning av Eudemos.

Simplicius kommenterar också Aristoteles *Fysik*, som han direkt har kunnat läsa om i Eudemos *Geometrins historia*, är numera förlorad. I samma verk återger Simplicius viktiga citat från Geminus' sammanfattning av Posidonius bok *Meteorologica*.

Simplicius har därmed visat sig vara en viktig länk tillbaka till de gamla grekiska vetenskapsmännens numera förlorade verk.

Den arabiska astronomin och matematiken (500-1500 e Kr)

Den allmänna uppfattningen i västvärlden tycks vara att efter grekernas lysande framsteg inom astronomi och matematik kom en tusenårig stagnationsperiod då ingenting hände förrän under den europeiska renässansen. Under den tusenåriga mellanperioden hade grekernas lysande arbeten bevarats tack vare översättningar till arabiska. Det har dock visat sig att de arabiska forskarna på egen hand har vidareutvecklat grekernas arbeten och på vissa områden gjort framsteg som inte gjordes i västerlandet förrän under 1600- eller 1700-talet. De största framstegen gjordes från slutet av 700-talet och fram till mitten av 1300-talet.

Den viktigaste utvecklingsfasen började i Bagdad ca 800. Där pågick en utveckling som resulterade i en kombination av det hinduiska decimalsystemet med ett nytt sätt att skriva siffror, översättning av grekiska arbeten och al-Khwarizmis egna arbeten. Kalifen al-Rhasid började regera 786, och han uppmuntrade lärdom. Under hans regim översattes Euklides *Elementa*, som första grekiska verk. Näste kalif, al-Ma'mun, lät bygga ett *Lärdomshus*, som blev både ett centrum för översättning och forskning. Vid denna tid gjordes översättningarna av språkkunniga vetenskapsmän och inte av språkforskare som var okunniga i matematik. Det var i detta sammanhang som översättningen till arabiska av Ptolemaios *Almagest* genomfördes.

Här gjordes den arabiska matematikens kanske viktigaste bidrag, nämligen al-Khwarizmis uppfinning av algebran. Det var en revolutionerande utveckling jämfört med den grekiska matematiken, som huvudsakligen handlade om geometri. Algebran var en generell metod för att hantera rationella och irrationella tal, geometriska storheter med mera, eftersom de kunde behandlas som "algebraiska objekt". Ur denna algebra uppstod polynom, kombinatorisk analys, numerisk analys, numerisk lösning av ekvationer osv. Utvecklingen skedde snabbt och två generationer efter al-Khwarizmi, kunde Abu Kamil (född 850) skriva potenser med bokstäver på ett sätt som motsvarar: $x^n \cdot x^m = x^{n+m}$. Användandet av symboler inom den arabiska matematiken kom emellertid mycket senare, under 1300-talet.

Al-Karaji (född 953) anses vara den som förste som fullständigt åtskildde algebran från geometrin och införde algebraiska operationer av samma typ som de aritmetiska. Omar Khayyum (född 1048) gjorde en fullständig klassifikation av kubiska ekvationer som löstes genom skärning med kägelsnitt. Han försökte även genomföra en algebraisk beskrivning och lösning. Detta problem löstes av Sharaf al-Din al-Tusi (född 1135) i en avhandling om tredjegradekvationer.

Arabiska matematiker gjorde också bidrag till talteorin. Al-Haytham (född 965) formulerade ett teorem som bevisades 750 år senare av Lagrange 1771. Andra teorem inom talteorin som tillskrivs Euler, var redan bevisade av arabiska matematiker 500 år tidigare.

I Bagdad fanns tre olika system att göra aritmetiska beräkningar. Matematikern Abu'l-Wafa (född 940) skrev flera avhandlingar om konsten att räkna på fingrarna. Detta system använde olika ord istället för siffersymboler och användes i första hand av affärsmän. Ett annat räknesystem var sexagesimalt med sifferbeteckningar hämtade från arabiska alfabetet.

Det tredje systemet använde indiska siffror och bråkdelar med decimala positionsvärden. Man använde dessa symboler vid räkning på någonting som liknar vår svarta tavla där siffror kunde strykas över eller suddas ut. Al-Uqlidisi (född 920) utvecklade en metod för papper och penna.

Det var det tredje systemet som gjorde det möjligt för araberna att göra framsteg inom konsten att göra beräkningar, till exempel kvadratrotsberäkningar. När Al-Karaji (född 953) hade upptäckt binomialteoremet för heltalsexponenter, utvecklades den numeriska analys som byggde på decimalsystemet. Al-Kashi (född 1380) tog fram en speciell algoritm för beräkning av n:te roten av ett tal.

De främsta bidragen från de arabiska matematikerna har skett inom algebra, talteori och siffersystem, men även bidragen inom geometri, trigonometri och matematisk astronomi har varit betydande. Ibrahim ibn Sinan (född 908) införde metoder att integrera, som var mera generella än de som Arkimedes uppfunnit. Al-Haytham studerade de optiska egenskaperna hos speglar som var formade som kägelsnitt. Omar Khayyam löste algebraiska ekvationer geometriskt genom en kombination av trigonometri och approximationsteori.

Astronomi, tideräkning och geografi var viktiga tillämpningar av kunskaperna inom geometri och trigonometri. Ibrahim ibn Sinan och hans farfar Thabit ibn Qurra undersökte vilka kurvor som var lämpliga när man skulle göra solur och gjorde både teoretiska och observationella arbeten inom astronomin. Abu'l-Wafa och Abu Nasr Mansur använde sfärisk geometri inom astronomin och utvecklade formler med *sinus* och *tangens*. Al-Biruni (född 973) använde formler med sinus både inom astronomin och vid beräkningen av longitud och latitud för många städer. Han gjorde omfattande studier över projektion av en halvsfär på ett plan.

Al-Battani (född 850) utförde noggranna observationer som han använde för att förbättra Ptolemaios data för solen och månen. Nasir al-Din al-Tusi (född 1201) utgick, liksom de andra arabiska astronomerna, från Ptolemaios astronomiska arbeten, men han bidrog med den mest betydande förbättringen av modellen för planetsystemet före Copernicus heliocentriska system.

Ulugh-Beg (född 1393) och al-Kashi beräknade, liksom Ptolemaios, egna trigonometriska tabeller för sina astronomiska studier. Araberna var även specialister på att konstruera och tillverka astrolabier. De byggde på principen med stereografisk projektion av en sfär på ett plan. Al-Biruni konstruerade förnämliga astrolabier enligt denna princip, men det verkliga mästerverket var ett astrolabium konstruerat av syriern Ibn ash-Shatir (1305-1375) som kunde användas för att lösa alla standardproblem inom den sfäriska astronomin på fem olika sätt.

Europas medeltid

Albategnius (cirka 880), latiniserad form av al-Battani, eller med fullständigt namn, Muhammed ben Geber Albatani, arabisk prins av Batan, i Mesopotamien, gjorde astronomiska observationer bl a från Antiokia i Syrien och den kaldeiska staden Racah (Aracta). När han jämförde sina observationer med Ptolemaios' tabeller i *Almagest*, fann han så stora avvikelser att han beslutade sig för att göra nya tabeller, som beräknades för meridianen i Racah (Aracta). De var länge de bästa tabellerna och kom att ligga till grund för senare förbättringar. Han beräknade förskjutningen av vårdagjämningpunkten relativt stjärnorna sedan Ptolemaios tid, och fann att den var 1 grad på 70 år, vilket blir 51.4"/år, som står sig bra jämfört med det moderna värdet på 50.26"/år. Albategnius uppmätte longituden för första stjärnan i Aries (Väduren) till 18° 02' och bestämde ekliptikans lutning till 23° 35'.

Den spansk-arabiske astronomen Arzachel, eller al-Zarqali (1028-1087) var bosatt i Toledo, i Spanien. Där utförde han astronomiska observationer som låg till grund för förbättringar av Albategnius tabeller. De nya tabellerna, som kallas *Toledotabellerna*, var beräknade för Toledos meridian, och var de dittills bästa astronomiska tabeller som konstruerats. Hans värde på solens maximala deklination, ekliptikans lutning, var 23° 34'.

Gerhard av Cremona (ca 1114-1187) flyttade till Toledo, som var den tidens främsta lärdomsstad. Där lärde han sig arabiska och översatte Ptolemaios *Almagest* till latin. Detta var den enda möjligheten att läsa *Almagest* på ett västeuropeiskt språk under flera hundra år, innan George från Trebizond och därefter Johannes Regiomontanus, på 1400-talet, översatte

den till latin direkt från grekiskan. Gerhard av Cremona översatte också Arzachels *Toledotabeller* till latin och gjorde dessa tillgängliga för Europas lärde.

Den viktigaste medeltida läroboken i astronomi på ett europeiskt språk var *Tractatus de Sphaera* av Johannes de Sacrobosco, skriven på latin och publicerad 1220. Den var en matematiskt inriktad framställning av Aristoteles och Ptolemaios världsbild med en praktisk tillämpning av kalenderberäkningar och astronomisk navigering till sjöss.

Det mest betydelsefulla astronomiska verket, som användes i Europa, var de s k *Alfonsinska tabellerna*, färdigställda 1272 på order av kung Alfonsius X av Kastilien (1221-1284), även kallad *Alfonsius Astronomen* eller *Alfonsius den Vise*. Den innehåller stjärnkatalog, planetteori, planettabeller och förmörkelseberäkningar för Toledos meridian för tidsperioden 1250-1670, samt beskrivning av astronomiska instrument såsom kvadranter, astrolabier och armillasfärer. Enligt Norman Roth, kapitel fem i *The Library of Iberian Resource online*, har de judiska astronomerna Yhuda fi de Mose Mosca, Rabbi Çag och Isaac ben Sîd varit huvudansvariga för arbetet med de Alfonsinska tabellerna, men de har haft ett 50-tal astronomer till hjälp vid beräkningarna. Flera av tabellerna utgör förbättringar av Arzachels *Toledotabeller*, genom nya observationer utförda av judiska astronomer i Toledo 1263-1272. De Alfonsinska tabellerna omarbetades sedan flera gånger och trycktes första gången i Venedig 1483. Ett exemplar av den andra tryckningen, som gjordes i Venedig 1492, ingår i Observatoriets bibliotek och är dess äldsta bok.

Renässansen

I Italien diskuterades de grekiska och arabiska matematikernas och astronomernas uppnådda resultat och en del försök gjordes att vidareutveckla deras idéer, främst inom matematikens område, men Aristoteles' och Ptolemaios' världsbild gällde fortfarande.

Nicolaus Copernicus (1473-1543)

Copernicus studerade latin, matematik, astronomi, geografi och filosofi vid universitetet i Krakow, 1491-1492. De grundläggande astronomikunskaperna inhämtade han från *Tractatus de Sphaera* av Sacrobosco. Som en viktig del astronomiundervisningen ingick även beräkning och tolkning av horoskop. Medan han studerade i Krakow inköpte han en latinsk översättning av Euklides *Elementa*, tryckt i Venedig 1482, andra utgåvan av de *Alfonsinska tabellerna*, tryckt i Venedig 1492, och Regiomontanus' *Riktningstabeller*, som innehåller sfärisk astronomi, tryckt i Augsburg 1490. Copernicus' privata exemplar av dessa böcker med hans signatur finns fortfarande bevarade. Han avslutade studierna i Krakow utan att ha avlagt någon examen, men fortsatte efter några år sina studier vid universitetet i Bologna år 1496.

Hans morbror Lucas Watzenrode, som var biskop i Warmia (Ermland) såg till att Copernicus 1497 blev utnämnd till kanik vid katedralen i Frombork (Frauenburg) vid Östersjökusten. Han kunde dock med bibehållen lön fortsätta sina studier i Bologna där han läste kanonisk rätt, grekiska, matematik och astronomi. Han hyrde rum hos astronomiprofessor Domenico Maria de Novara och assisterade honom vid astronomiska observationer.

Utan att ha avlagt examen reste han till Rom år 1500 för att delta i firandet av det katolska jubelåret och föreläsa i matematik och astronomi. När han anlände till Frombork våren 1501 hade han fortfarande inte någon akademisk examen. Han bad sin morbror biskopen om tillstånd att samma sommar få återvända till Italien, närmare bestämt universitetet i Padua, denna gång för att studera medicin, men han avslöjade inte att hans egentliga avsikter var att studera vidare inom astronomin. Vid denna tid var det lätt att kombinera dessa studier eftersom astronomin väsentligen bestod av astrologi, som i sin tur tillämpades inom

medicinen. Han återvände till Frombork 1503, utan examen i medicin, men med en examen i kanonisk rätt från universitetet i Ferrara.

Hela tiden tycks hans stora intresse ha gällt astronomin, men detta visste endast en inre grupp av nära vänner. Cirka 1514 lät han en liten handskriven bok, *Commentariolus*, cirkulera bland sina vänner. Ingen författare angavs på bokens titelblad, men alla visste att det var Copernicus hade som skrivit den. I denna bok presenterade han sin heliocentriska världsbild. (Det enda kompletta exemplaret hittades på Stockholms observatorium 1878.)

Copernicus baserar sin teori på sju axiom:

- 1) Det finns inget entydigt centrum i universum
- 2) Jordens befinner sig inte i universums centrum
- 3) Universums centrum ligger nära solen
- 4) Avståndet mellan solen och jorden är försumbart i jämförelse med avståndet till stjärnorna
- 5) Jordens rotation är orsaken till stjärnornas skenbara dagliga rotation
- 6) Solens årliga rörelse beror på att jorden rör sig runt solen
- 7) Planeternas skenbara retrograda rörelse orsakas av jordens rörelse varifrån observationerna äger rum

De sju axiomen är inte oberoende av varandra, men det var troligen inte Copernicus avsikt att formulera en strikt uppsättning av ett minimalt antal axiom. Det sista axiomet är det mest betydelsefulla eftersom detta är första gången som någon presenterat en korrekt förklaring till de yttre planeternas retrograda rörelser. Ryktet om Copernicus astronomiska kunskaper hade trots hans diskretion nått påven i Rom, och han inbjöds att delta i arbetet med att förbättra den julianska kalendern som förskjutit sig i 10 dagar förhållande till årstiderna. Han ansåg sig inte vara färdig med sina förbättringar och besvarade inbjudan endast med ett brev.

Copernicus hade i *Commentariolus* utlovat en mer omfattande presentation av sin teori i form av en bok, men hans arbete blev fördröjt av krigiska förvecklingar i Warmia och Frombork. Det tycks inte ha varit förrän i mitten av 1520-talet som han kunde återuppta arbetet på sin bok om himlakropparnas heliocentriska rörelser.

Copernicus var inte någon naturvetare i modern bemärkelse. Han litade mer på gamla grekiska författares uppgifter än samtida observationer när teori och observationer inte stämde. I ett brev², som han skrev 1524 till sin vän och kollega Bernhard Wapowski i Krakow, angrep han Nürnberggastronomen Johannes Werner för att han denne hade påstått att Timocharis från Alexandria, som levde 400 år före Ptolemaios, hade utfört otillförlitliga observationer. Diskussionen gällde rörelsen hos den åttonde sfären, det vill säga precessionen. Han skrev bl a enligt Peter Nilson, *Astronomisk Tidskrift* 1973 nr 4: "Det står obestriddligen fast att de gamle med allra största omsorg åstadkom de beundransvärda resultat som de överlämnat till oss".

Arbetet med att färdigställa en bok om den heliocentriska teorin för solsystemet gick långsamt delvis beroende på att Copernicus inte hade några kompetenta kollegor i sin närhet att diskutera med. Han betraktades dock som en stor auktoritet inom en inre krets av astronomer, trots att han inte var professor i astronomi vid något ansett universitet, och den

² En kopia av detta brev finns inklistrat på pärmarnas insida i Observatoriets exemplar av andra utgåvan av *Om himlakropparnas rörelser* av Copernicus, tryckt i Basel 1566. Presidenten för Polska Vetenskapsakademien besökte Uppsala i början av 1970-talet för att fastställa äktheten hos vårt exemplar av detta brev inför firandet av 500-årsminnet av Copernicus födelse. Jag var jourhavande astronom den vecka som han var på Observatoriet och jag följde hans arbete på nära håll, eftersom jag inte tyckte att han kunde lämnas ensam i gamla biblioteket, där alla rariteterna stod öppet i hyllorna. Han undersökte bl a vattenstämplarna på brevpapperet och konstaterade att det var från 1550-talet och därmed äldre än boken.

nyutnämnde professorn i astronomi och matematik vid universitetet i Wittenberg, Georg Joachim Rethicus ville öka sin kompetens genom att besöka Copernicus i Frombork.

Rethicus, som var protestant, tog en stor risk när han åkte till det katolska fästet Frombork. Han anlände dit 1539 och stannade i två år hos Copernicus för att sätta sig in i den heliocentriska teorin. Rethicus berättar att Copernicus mödosamt försökte att förena de gamla grekiska observationerna med sina egna till en invändningsfri matematisk teori och att han till slut lyckades övertala Copernicus att publicera sin teori. Manuskriptet till *De revolutionibus orbium coelestium* var färdigt att publicera 29 augusti, 1541. Utan Rethicus påtryckningar hade troligen denna viktiga bok aldrig blivit publicerad.

På senvintern 1542 sändes en kopia av manuskriptet till boktryckaren Johann Petreius i Nürnberg. Rethicus hade lovat att han skulle läsa korrekturet och övervaka tryckningen, men han fick förhinder och överlämnade ansvaret till den protestantiske teologen Andreas Osiander, som visat stort intresse för bokens innehåll, och var van att trycka matematisk text.

Osiander såg emellertid till att Copernicus företal till boken byttes ut mot ett som han själv hade skrivit anonymt. I detta hävdades det att boken inte var en beskrivning av verkligheten utan endast innehöll ett enklare sätt att beräkna himlakropparnas positioner. Många har blivit mycket upprörda över denna förfälskning av författarens egen målsättning med boken, medan andra anser att utan denna ändring hade boken inte blivit tryckt.

Det var tur att arbetet med *De revolutionibus orbium coelestium* redan var avslutat eftersom Copernicus drabbades av slaganfall mot slutet av 1542. Han avled 24 maj, 1543, men skall enligt uppgifter från Rethicus ha fått se ett exemplar av sitt mästerverk innan han gick ur tiden.

Bokens fullständiga titel var *De revolutionibus orbium coelestium, Libri VI*, ”Sex böcker om himlakropparnas omlopp”. Första delen var en översikt av hela teorin och den andra behandlade astronomins matematiska principer med Copernicus egen framställning av den sfäriska trigonometrin, samt en stjärnkatalog. Den tredje avdelningen beskriver jordens rörelse och den fjärde månens. De två sista delarna, som blev sist färdiga, innehåller planeternas rörelser.

Tycho Brahe (1546-1601)

Tycho Brahe tillhörde en Skånsk adelssläkt med stort inflytande vid det danska hovet. Han började sina studier vid universitetet i Köpenhamn 1559 för att bli jurist, men blev istället mera intresserad av astronomi. Förutsägelsen av förmörkelsen 21 augusti, 1560 gjorde ett starkt intryck på honom och han började studera astronomi på allvar. Han köpte böcker med efemerider såsom Sacroboscus' *Tractatus de Sphaera*, Apianus' *Cosmographia seu descriptio totius orbis* och Regiomontanus' *De triangulis omnimodis*.

Han fortsatte sina studier i Leipzig 1562 med klassiska språk och kulturer, men hade tagit med sig sina astronomiböcker. Han började föra journal över sina observationer från och med augusti 1563. Den andra observationen han bokförde gällde en konjunktion mellan Jupiter och Saturnus. Den kom att få stor framtida betydelse för honom eftersom han insåg att den förutsagda tidpunkten för konjunktionen var fel med nästan en hel månad enligt Ptolemaios' teori och några dagar enligt Copernicus teori. Han hade ännu inte fyllt sjutton år, men ansåg att han själv skulle kunna åstadkomma bättre resultat. Tychos lärare i astronomi, Bartholomeus Schultz, lärde honom olika knep att uppnå de bästa observationsresultaten och han skaffade sig förnämliga instrument. Han reste till Wittenberg och Rostock 1566 och det var i Rostock som han blev av med en del av sin näsa i en duell med en dansk student. Efter hemkomsten 1567 skaffade han sig en konstgjord näsa av silver och guld.

Fadern ville att han skulle göra en politisk karriär, men Tycho lyckades övertala honom att få göra en ny utlandsresa denna gång till Rostock, Basel, Freiburg och Augsburg. Tycho hade arbetat på teorier om förbättringar av observationsinstrumenten och i Augsburg lät han

tillverka en stor kvadrant, som bekostades av hans beskyddare och uppställdes på dennes gods utanför Augsburg. Den var dock så stor och klumpig att det krävdes flera tjänare att flytta på den och endast ett objekt kunde observeras per natt. Han återvände till Skåne i slutet av 1570 och började sätta upp ett observatorium och ett alkemiskt laboratorium i Herrevadskloster.

År 1572 inträffade något som skulle få stor betydelse för Tycho. Tidigt på kvällen 11 november, 1572, gick han ut ur sitt alkemiska laboratorium och upptäckte en ny stjärna i stjärnbilden Cassiopeia. Han var inte den första att upptäcka denna nova, men hans observationer av bl a ljusstyrkan, som publicerades 1574, skulle få så stor betydelse att den har kallats Tychos supernova. Tychos parallaxmätningar bevisade att supernovan befann sig bortanför månens bana och det var för första gången som han hade bevis för att Aristoteles hade fel när han påstod att allting bortom månen var oföränderligt.

Tycho gjorde en ny utlandsresa 1575 och besökte bl a lantgreven i Kassel, som 15 år tidigare hade inrättat observatorium med nya stora instrument. Han tänkte slå sig ner i Basel, men kung Fredrik II av Danmark erbjöd honom möjlighet att bygga ett nytt välutrustat observatorium på ön Ven, som han kallade Uranienborg. Denna byggnad var geometriskt utformad och var influerad av byggnader som han sett i Venedig samma år. Han publicerade en ritning av Uranienborg i *Astronomiae instaurantae mechanica* 1598.

En av de mest dramatiska observationerna som Tycho utförde från Uranienborg gällde kometen som han upptäckte 13 november, 1577. Han publicerade sina kometmätningar 1588 i *De mundi aetherei recentioribus phaeonomenis*, där han drar kosmologiska slutsatser. Tychos parallaxmätningar visade nämligen att kometen befann sig bortom månens bana och därigenom hade han ytterligare ett bevis på att även företeelser bortom månen kunde förändras, tvärtemot vad Aristoteles hade sagt. Hans mätningar visade att kometen säkerligen rörde sig till och med bortanför Venus avstånd till jorden.

Tycho skaffade sig hela tiden nyare och större instrument och 1584 hade han fyllt Uranienborg och byggde ett nytt observatorium i närheten, som han kallade Stjärneborg. De förnämsta instrumenten var en stor murkvadrant, en roterbar träkvadrant, en roterbar stålkvadrant, en astronomisk sextant och en ekvatoriell armillasfär. Genom att jämföra resultaten från de lika instrumenten kunde han upptäcka när något instrument behövde justeras. Enligt Wesley och Swerdlow låg observationsfelet mellan 0.5' till 1.0', vilket är mycket bra utan teleskop. Redan Kepler ansåg att Tychos observationsfel var mindre än 2'.

I sin ungdom var Tycho övertygad om att Copernicus hade rätt när han placerade solen i centrum av solsystemet. Men han var empiriker och förväntade sig en mätbar parallax orsakad av jordens rörelse runt solen. Den uteblivna parallaxen kunde antingen bero på att jorden var stationär i universum eller också befann sig stjärnorna så långt bort att parallaxen inte var mätbar. (Det krävs cirka hundra gånger större mätnoggrannhet än Tychos för att kunna uppmäta de största stjärnparallaxerna, men det kunde inte han veta.) Tycho drog slutsatsen att hans observationer visade att jorden var stationär, och att månen och solen rörde sig runt jorden, men alla planeter rörde sig runt solen. Detta är Tycho Brahes modell av solsystemet.

Tychos systematiska observationerna av månen började 1581. Han kunde bestämma månens avstånd till 402 000 km med hjälp av de cirka 400 månobservationerna. Det moderna värdet är 384 400 km. Det tropiska årets längd bestämdes genom solobservationer till 365 dagar 5 timmar 48 minuter och 45 sekunder, vilket skiljer sig endast med två sekunder från det moderna värdet. Han gav också ut en stjärnkatalog med 777 mätningar av positionerna för de ljusaste stjärnorna. Denna katalog höll högsta möjliga noggrannhet och kompletterades med ytterligare cirka 300 positioner för svagare stjärnor, men med lägre precision. Dessa uppgifter kommer från Åke Jönssons bok *Tycho Brahe, världsmedborgaren från Ven*, Historiska media, Lund 2004, sidorna 34-35.

Tychos store gynnare kung Fredrik II dog 1588, men understödet för hans verksamhet på Ven fortsatte även under förmyndaregeringen för den blivande kung Christian IV. Tycho hade

tidigare behandlat sina underlydande på Ven hårt, men efter 1590 blev både de underlydande och studenterna orimligt hårt behandlade. Eftersom han betraktade sig som Hipparchos och Ptolemaios efterträdare ansåg han sig mera förnäm än kungen och uppträdde arrogant mot denne. Han hade tidigare lyckats utverka att hans barn skulle få ärva det statsägda Uranienborg, men detta upphävdes av den unge kung Christian IV, eftersom Tycho bl a hade försummat underhållet av hans fars, kung Fredriks II, gravkapell i Roskilde Domkyrka.

Tycho gjorde sin sista observation på Uranienborg 15 mars, 1597 och stängde därefter observatoriet på Ven och flyttade till Köpenhamn. Han hade dock ingen framgång i Köpenhamn och tog sina instrument med sig till Prag där han 1599 blev utnämnd till kejserlig hovmatematiker hos kejsar Rudolf II. Johannes Kepler anställdes som hans assistent. Tycho monterade upp sina instrument och började göra nya observationer i Prag.

Tychos stora projekt att göra nya tabeller för planetsystemet, utgående från hans observationer insamlade under 38 år, finansierade av Rudolf II. Projekt hade dock knappast hunnit starta innan Tycho Brahe avled 24 oktober, 1601.

Johannes Kepler fick efterträda Tycho som kejserlig hovastronom och han fick överta Tychos alla mätningar och ansvara för utgivningen av tabellerna. Det skulle emellertid dröja ända till 1627 innan Kepler kunde avsluta arbetet med de nya tabellerna för planetsystemet och få dem publicerade. De kallades de *Rudolfinska tabellerna* för att hedra den som bekostade arbetet med dem och utgivningen.

Det visade sig att Tychos observationer av planeten Mars skulle få den allra största betydelsen eftersom Kepler utifrån dessa kunde formulera sina tre lagar för planeternas rörelse runt solen.

Hjälpmedel vid astronomiska beräkningar

Trigonometriska tabeller

De tidiga grekiska astronomerna formulerade en matematisk modell av himlakropparnas rörelser, som blev allt mer och mer detaljerad och målet var att de teoretiska beräkningarna skulle stämma perfekt med observationerna. Allteftersom observationsmetoderna förbättrades måste även modellerna förbättras och beräkningarna blev därför allt mer betungande och redan Hipparchos och Ptolemaios beräknade egna trigonometriska hjälptabeller.

De arabiska astronomerna gjorde ytterligare förbättringar av observationstekniken och de matematiska modellerna, vilket innebar ännu mer detaljerade beräkningar. Även al-Kashi (född 1380) och Ulugh-Beg (född 1393) upprättade trigonometriska tabeller för att underlätta sina astronomiska studier. Araberna hade också uppfunnit algebran och infört ett siffersystem som gjort det möjligt att förenkla de aritmetiska beräkningarna.

Napiers (Nepers) och Briggs logaritmer

Addition och subtraktion är mycket mindre tidskrävande än multiplikation och division. Det var därför ett mycket stort framsteg när John Napier (1550-1617) uppfann logaritmfunktionen, med vilken man kunde utföra multiplikation genom att addera logaritmerna för två tal och division genom att subtrahera logaritmerna för motsvarande tal. För att underlätta beräkningarna måste man upprätta logaritmtabeller, från vilka man först hämtade värdet på logaritmerna av de bägge talen, som skulle multipliceras eller divideras, och sedan kunde man få svaret genom att med tabellen omvandla logaritmvärdet av svaret till motsvarande numeriskt värde. Detta var dock en approximativ metod och svarets kvalitet berodde på hur många siffrors noggrannhet som logaritmtabellen hade beräknats med.

Napier var en välbärgad slottsherre från Skottland och han ägnade sig åt matematik mest som hobby. Hans första avhandling om logaritmerna, *Mirifici logarithmorum canonis descriptio*, publicerades 1614. (Observatoriets bibliotek har både den latinska upplagan från 1614 och den engelska från 1618, publicerad efter hans död.)

Den första upplagan lästes med största förtjusning av Henry Briggs, senare professor i matematik i Oxford, som redan 1615 föreslog förbättringar av Napiers logaritmer genom att införa $\log 1 = 0$. Briggs första logaritmtabeller publicerades i London 1617. (Observatoriets bibliotek har Briggs tioställiga logaritmtabell från 1633.)

Johannes Keplers räknearbete med de *Rudolfinska tabellerna*

Johannes Kepler (1571-1630) studerade matematik, grekiska och hebreiska vid universitet i Tübingen, i södra Tyskland, där han doktorerade 1591. Keplers lärare i matematik, Michael Mästlin (1550-1631), var en tidig anhängare av Copernicus heliocentriska teori för solsystemet. Han valde speciellt ut Kepler till fördjupade studier av denna teori, och påpekade att Copernicus själv ansåg att den inte bara var en matematisk modell, som det stod i förordet skrivet av den lutherske teologen Andreas Osiander, utan att den motsvarade den fysiska verkligheten.

Kepler var en from katolik, men också mystiker, vilket inte var passande i det starkt ortodoxa lutherska Tübingen, där man krävde att alla anslöt sig till den Augsburgska bekännelsen. Kepler kunde inte acceptera denna bekännelse och flyttade på rekommendation av Mästlin till Graz, där han blev professor i matematik 1594. I Graz blev Kepler starkt engagerad av astronomiska problemställningar och särskilt Copernicus heliocentriska teori för solsystemet. När han i sin undervisning framhöll att den heliocentriska världsbilden var en fysisk beskrivning av verkligheten blev han år 1600 formellt utvisad från Tübingen och dessutom bannlyst av katolska kyrkan 1613.

År 1599 hade Tycho Brahe (1546-1601) flyttat från Danmark till Prag och blivit utnämnd till kejserlig hovmatematiker hos Rudolf II. På rekommendation av Mästlin hade Kepler blivit anställd som hans assistent. Deras uppgift var att utifrån Brahes observationer, utförda på Ven under 38 år, utarbeta nya mera exakta tabeller över solens, månens och planeternas rörelser. Dessa tabeller, som kom att kallas de *Rudolfinska tabellerna*, skulle dock inte bli färdiga förrän 1627, långt efter kejsar Rudolfs död. Tycho Brahe dog emellertid redan 1601 och Kepler efterträdde honom som kejserlig hovmatematiker. Det blev nu Keplers uppgift att på egen hand ansvara för analysen av Brahes observationer och att utarbeta de *Rudolfinska tabellerna*.

Innan detta arbete hade slutförts hade Rudolf II blivit avsatt, 1612, på grund av sviktande hälsa. Han avled samma år och Kepler måste därefter lämna Prag. Han flyttade först till Linz, sedan till Ulm 1621, och därefter 1627 till Sagan. På grund av religiösa förföljelser blev han slutligen tvungen att flytta till Regensburg där han blev sjuk och dog 15 november, 1630. Efter drygt 25 års arbete hade Kepler lyckats ersätta Copernicus cirkulära heliocentriska planetbanor med elliptiska banor med solen i ena fokus och kunnat sammanfatta sin nya teori i tre fundamentala lagar.

När Kepler efter Tycho Brahes död fått hela ansvaret för utgivningen av de *Rudolfinska tabellerna* hade han ett gigantiskt räknearbete framför sig. Kraven på exakthet hade dessutom ökat genom att Galilei konstruerat de första teleskopen 1609-1610. Kepler hade sedan själv uppfunnit ett ännu bättre teleskop, Keplerkikaren, med ett okular bestående av positiva linser och en reell bild i ett fokus som kunde försees med hårkors och mikrometer för vinkelmätningar.

Kepler blev mycket glad när han 1616 läste Napiers arbete om logaritmerna, publicerad 1614. Hans gamle lärare Mästlin påpekade dock att det dels var opassande för en seriös matematiker att glädja sig över ett hjälpmedel som underlättade mödosamma beräkningar, och dels att det var oklokt att förlita sig på logaritmerna, som ingen förstod hur de fungerade. Kepler lät sig emellertid inte avskräckas utan publicerade istället ett bevis för att logaritmerna fungerade. Han beräknade sedan åttaställiga logarimtabeller som publicerade tillsammans med de *Rudolfinska tabellerna*. Dessa tabeller trycktes i Ulm 1627. (Ett exemplar av originalupplagan ingår i Observatoriets bibliotek.)

Trettioåriga kriget

Detta var en tid när motsättningarna mellan protestanter och katoliker stegrades till det förödande religionskrig som bröt ut 1618 och pågick ända fram till 1648, och därför kallas det trettioåriga kriget. Detta utdragna krig kom att utspela sig i Tyskland, men drabbade indirekt stora delar av Europa, även Sverige. Från starten leddes den katolska sidan av kejsar Ferdinand II i Prag, som inledningsvis med framgång bekämpade de olika protestantiska furstarna i Tyskland ända fram till Östersjökusten. Svenskarna kände sig hotade och gick in i kriget 1630 med Gustaf II Adolf som protestanterna segerrike anförare. Efter den svenske kungens död 6 november, 1632, gick kriget in i en mera utdragen fas, utan några avgörande drabbningar. Men svenskarna, som fick ekonomiskt stöd bl a från Frankrike, stod slutligen som segrare 1648. Då hade svenskarna drivit kejsaren och den kejserliga armén på flykten och intagit den rikaste halvan av huvudstaden Prag, väster om Moldau. Där genomfördes en systematisk pundring på allt värdefullt som fanns i de kejserliga slotten, privata palatsen, klostren och kyrkorna. De allra värdefullaste samlingarna fanns i Rudolf II *Konstkammare och kuriosakabinett*.

Observatoriets samling av räknemaskiner

Wilhelm Schickards räknemaskin från 1623-24

År 1617 blev Kepler god vän med Wilhelm Schickard (1592-1635), som hade fått sin utbildning vid universitetet i Tübingen. Han hade studerat teologi och orientaliska språk, avlagt magisterexamen 1611, och efter ett vikariat fått tjänsten som diakon i Nürtingen nära Tübingen, 1614. År 1618 blev han utnämnd till professor i orientaliska språk såsom arameiska, hebreiska, kaldeiska, syriska, arabiska och turkiska vid universitet i Tübingen. Schickard var emellertid en forskare med breda intressen och kunskaper och 1631 fick han efterträda Keplers lärare Mästlin, som professor i astronomi, matematik och geodesi vid universitet i Tübingen. Han hade dessförinnan haft ett nära samarbete med Mästlin inom astronomi och matematik. Inom lantmäteriet förbättrade han metoderna och hans kartor var de mest exakta som fanns vid denna tid.

Schickard uppfann maskiner för olika ändamål, bland annat en som kunde användas för matematiska beräkningar och en för hebreisk grammatik. Han var även en skicklig tecknare, målare och gravör både i trä och på kopparplåtar, vilket var mycket användbart när han skulle tillverka skalorna på sina maskiner. Han har också gjort några av kopparsticken i Keplers bok *Harmonice Mundi*, publicerad i Linz 1619.

När Kepler höll på med beräkningarna av de *Rudolfinska tabellerna*, fick han 1623 och 1624 brev från Schickard där denne erbjöd honom sin nyligen uppfunna räknemaskin.

Schickard hade många personliga motgångar mot slutet av sitt liv och hans mor dog i samband med stormningen av Tübingen, 1631/1632. Hela Schickards familj dog 1634-1635 i den buboniska pesten och hans detaljerade anteckningar om räknemaskinen förblev länge okända.

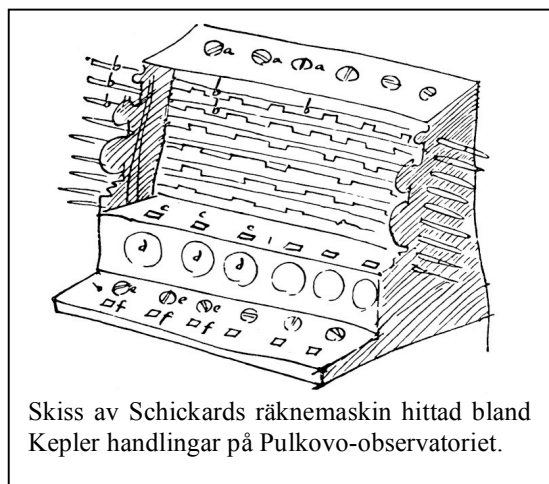
År 1899 publicerade en mätteknisk tidskrift från Stuttgart två brev från Schickard till Kepler med skisser och konstruktionsanteckningar av räknemaskinen. År 1912 publicerade Württembergs mättekniska förening samma material, men med fler mekaniska konstruktionsdetaljer, som hade hittats i Schickards kvarlåtenskap. Enligt Benjamin Nill, från universitet i Tübingen, 1999, framgår det tydligt, av alla dessa konstruktionsanvisningar, att ett fungerande exemplar hade byggts även om det kanske hade utformats på ett annat än de tidiga skisserna visat.

Bland Keplers efterlämnade handskrifter från Pulkovo upptäckte historiken Franz Hammer, 1935, en teckning på Schickards färdiga räknemaskin. Hammer hittade också i denna samling de redan tidigare publicerade skisserna och noteringarna. På grund av andra världskriget och egna hälsoproblem kunde han inte offentliggöra sina fynd förrän vid ett föredrag för matematikhistoriker 1957. Bland åhörarna fanns filosofiprofessorn, baron Bruno von Freytag-Löringhoff som på kort tid utarbetade ett rekonstruktionsförslag. En fungerande replik av Schickards räknemaskin konstruerades 1960. De rekonstruerade exemplarens storlek, bredd 55 cm, höjd 58 cm och djup 37 cm, har baserats på jämförelsen med storleken av en hand som finns med på skissen från Stuttgart. Ett exemplar finns utställt på Deutsches Museum i München. En jämförelse med de bevarade delarna från räknemaskinen i Uppsala visar att den verkliga maskinen kan ha varit 3-4 gånger mindre, se nedan. (Benjamin Nill har gjort en Java 3D-simulation av Schickard maskin från 1623-24, som finns på Internet.)

Schickards räknemaskin är den äldsta kända mekaniska räknemaskinen som kan addera, subtrahera, multiplicera och dividera. Den bakomliggande idén var lysande. Den övre delen utförde multiplikation och division med hjälp av roterbara vertikala cylindrar med tryckta multiplikationstabeller enligt principen för de så kallade *Napiers ben*, som Napier uppfann 1617, under sitt sista levnadsår. Addition och subtraktion gjordes i den nedre delen av

maskinen genom att man vred på rattar åt olika håll. Rattarna var kopplade till inre kugghjul som överförde vridningen till det önskade värdet mellan 0 och 9. För varje helt varv vreds hjulet närmast till höger 1/10 varv. Vid subtraktion vred man åt motsatta hållet.

I de bevarade breven till Kepler, från 1623 och 1624, ger Schickard en kortfattad beskrivning av sin uppfinning. Den första skissen till räknemaskinen finns i ett brev daterat 20 september, 1623. Den hade 6 siffrors noggrannhet, vilket framgår av en konstruktionsskiss i brevet. Om denna maskin verkligen tillverkades så är den nu spårlöst försvunnen.



Skiss av Schickards räknemaskin hittad bland Kepler handlingar på Pulkovo-observatoriet.

I brevet till Kepler från 25 februari, 1624 beskriver han återigen maskinens konstruktion, men tillägger att det är lättare att förstå den när man kan demonstrera den verkliga maskinen, vilket borde innebära att en sådan verkligen fanns. Han berättar slutligen att han gjort en beställning på en räknemaskin åt Kepler hos en lokal hantverkare, Johan Pfister. Tre dagar tidigare, när denna maskin var halvfärdig, hade det utbrutit en nattlig eldsvåda som förstört delarna till maskinen samt en del andra föremål, bl a tryckplåtar av metall, som tillhört Schickard. Han hade tagit förlusten hårt eftersom det inte fanns tid att i det snaraste

tillverka en ersättare.

Detta inträffade tre år innan Kepler publicerade de *Rudolfinska tabellerna*. De trycktes 1627 i Ulm där han hade bott sedan 1621. Det är inte känt vad Kepler ansåg om Schickards räknemaskin, men han hade säkert inte någonting emot möjligheten att kunna få tillgång till ett hjälpmedel som underlättade hans tabellberäkningar. Det är också rimligt att tänka sig att Schickard gjort sin uppfinning för att hjälpa sin vän eller till och med på ett direkt önskemål från Kepler. Kepler hade själv funnit det nödvändigt att konstruera åttaställiga logaritmtabeller och den första maskinen med sex siffrors noggrannhet motsvarade sannolikt inte Keplers behov av exakthet vid alla typer av beräkningar. Den kan ändå ha varit till god hjälp vid konstruktionen av de åttaställiga logaritmtabellerna, om problemet kunde delas upp i delproblem.

Sammanfattning: Det som är känt när det gäller Schickards räknemaskiner är att delar till en sexställig räknemaskin, ämnad för Kepler, brann upp 22 februari, 1624 i en brand hos en hantverkare i Tübingen. Konstruktören Wilhelm Schickard dog 1635 och den tänkte användaren av räknemaskinen, Johannes Kepler, dog 1630 efter att ha genomfört det ditintills största beräkningsprojektet i historien. Behovet av tunga beräkningar var tillgodosett för de närmaste åren och det fanns ingen marknad för räknemaskiner av Schickards typ i ett Europa som plågades av trettioåriga krigets faser. Därför blev denna genialiska räknemaskin bara en kuriositet.

Andra räknemaskiner från 1600-talet tillverkade av Pascal och Leibniz

Den franske matematikern och filosofen Blaise Pascal (1623-1662) uppfann 1642 en räknemaskin som kunde addera. Den första som tillverkades 1643 hade 5 siffrors noggrannhet, men senare byggdes räknemaskiner med 8 siffrors precision. Detta var den första räknemaskin som fick en större spridning, men den hade troligen aldrig tillverkats om Pascal hade känt till Schickards räknemaskin.

När det tyska universalsnillet, matematikern och filosofen, Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) under ett besök i Paris fick se hur Pascals räknemaskin fungerade beslutade han

sig för bygga en maskin som även kunde utföra multiplikation och division. Ritningarna till den nya räknemaskinen var färdiga 1674 och den tillverkades sedan av en hantverkare i Paris. Den byggde på Leibniz nya princip med ett cylinderformat kugghjul med nio stavliknande kuggtänder av olika längd. Det tillverkades endast två exemplar av denna maskin. Båda finns bevarade och det ena förevisas på Stadsmuseet i Hannover och det andra finns på Deutsches Museum i München.

Observatoriets ”Räknemaskin i trä, 1500- eller 1600-tal”

Astronomiska observatoriet i Uppsala har många gamla klenoder i sina samlingar både när det gäller böcker och instrument. En del av de gamla instrumenten finns idag utställda i en monter i Observatoriets lokaler på Ångströmlaboratoriet. Det mest gåtfulla föremålet i montern består av sju likadana träcylindrar täckta av papper med siffror ordnade i kolumner, med två siffror i varje cell, åtskiljda av en diagonal linje, så att det ser ut som om siffrorna skall läsas längs spiraler. Cylindrarna sitter tätt bredvid varandra i en träram och kan vridas genom att axlarna, sticker ut cirka en cm på undersidan, är utskurna till ett kvadratisk tvärsnitt. Träramens yttre dimensioner är 16 cm bred och 8 cm hög.

Fastän att den ser så gåtfull ut är det knappast någon som vågat föra den på tal eftersom man inte vill erkänna att man inte begriper hur den fungerar. Detta är ingenting att skämmas för eftersom det har visat sig att ingen i modern tid har vetat hur den fungerar. Beteckningen ”Räknemaskin i trä, 1500- eller 1600-tal” uppträder troligen för första gången 1977, se nedan.

Min första kontakt med denna räknemaskin var när min handledare i astronomiska



Observatoriets äldre räknemaskin i trä har sju cylindrar med multiplikationstabeller ordnade som de så kallade Napiers ben. Den högra cylindern har en avvikande utformning och siffrorna är skrivna av en annan hand, med större bokstäver och med en annan penna. Det är rimligt att antaga att de sex likadana cylindrarna har ingått i en äldre räknemaskin, som senare har byggts om och försetts med en sjunde cylinder.

Dessa cylindrar har utgjort multiplikations- och divisionsdelen i en räknemaskin av den typ som uppfanns av Wilhelm Schickard 1623, och som finns beskriven i två brev till Johannes Kepler skrivna 1623 och 1624. Av breven framgår det att Schickard skulle bygga en räknemaskin med sex cylindrar åt Kepler. Denna maskin är spårlöst borta. Schickard bodde i staden Tübingen i södra Tyskland och Kepler i den närbelägna staden Ulm.

Räknemaskinen har förmodligen kommit till Uppsala som krigsbyte från trettioåriga kriget och kan ha blivit ombyggd här av någon tekniskt kunnig person, troligen Christoffer Polhem.

beräkningar, det numeriska oraklet fil. lic. Yngve Ekedahl, år 1970 tog fram den ur montern och undersökte den. Jag minns att han misstänkte att siffrorna kunde representera Napiers logaritmer och att vi tog fram Napiers logaritmtabell från 1614 för att se om denna hypotes kunde bekräftas. Vi kunde dock inte finna några likheter, men Ekedahl gav inte upp tanken på att han någon gång i framtiden skulle kunna skriva en artikel om hur denna lilla gåtfulla räknemaskin fungerade, men så blev det inte. (Det visade sig, se nedan, att siffrorna på räknemaskinens cylindrar motsvarade Napiers multiplikationsstavar och inte hans logaritmtabeller.)

När jag, med början 15 augusti, 2004, fick i uppdrag att skriva om astronomiska beräkningsmetoder och Observatoriets räknemaskiner, gällde detta inte minst en utredning om den gamla räknemaskinens ursprung och funktionssätt. En förfrågan bland kollegor som kunde tänkas känna till någonting om själva maskinen eller dokumentation om densamma gav inget resultat. Inte heller professorn i Idé och lärdomshistoria, Karin Johannisson, som i samband med universitetets 500 års jubileum 1977, som nybliven fil doktor, gjorde en inventering och dokumentation av Observatoriets gamla inventarier, visste någonting mer än vad som stod i hennes rapport, där den kanske för första gången betecknas som "Räknemaskin från 1500- eller 1600-talet". Hennes uppgiftslämnare, professor Åke Wallenquist och docent Peter Nilson, är numera avlidna liksom Yngve Ekedahl. Uppgiften att utreda denna maskins ursprung verkade minst sagt svårlöst eftersom traditionen bakåt har gått förlorad vid ett okänt tillfälle i det förflutna.

Jag granskade räknemaskinen då och då när jag gick förbi den i korridoren och studerade bl a hur siffrorna var ordnade. Det verkade vara mycket svårt att avläsa dessa små siffror och hålla reda på vilka man skulle titta på samtidigt, i synnerhet om man skulle vrida på de olika cylindrarna. När man även tog i beaktande att det krävdes ganska små fingrar och var väldigt obekvämt att vrida på cylindrarna drog jag slutsatsen att det som betecknats som en *räknemaskin* i själva verket enbart var en komponent av en räknemaskin. Jag föreställde mig att den suttit längst upp på en mekanism med de fyrkantiga axeltapparna riktade nedåt och intryckta i motsvarande fyrkantiga hål i en mekanism. Med denna orientering kunde man läsa siffrorna rättvända. För att underlätta avläsningen kunde de sju cylindrarna ha befunnit sig bakom en skärm med en liten lucka framför varje cylinder så att endast en siffra i taget varit synlig. Denna konstruktion beskrev jag för prefekten Lagerkvist den 7 september. Nästa dag, 8 september, 2004, kunde jag med hjälp av information på Internet identifiera Observatoriets "räknemaskin" som multiplikations- och divisionsdelen av en sjuställig räknemaskin av Schickards modell.

Vid sökningar efter historiska räknemaskiner på Internet hittade jag *A Brief History of Mechanical Calculators* av James Redin där alla kända äldre mekaniska räknemaskiner fanns uppräknade i innehållsförteckningen. När jag ögnade igenom innehållet hittade jag redan på sidan två en färgbild på s k *Napiers ben*, med en uppställning av siffror och diagonala linjer som stämde perfekt med utseende på cylindrarna på vår räknemaskin, med den enda skillnaden att Napiers ben har siffrorna tryckta på en plan yta.

Därmed var det helt klart att vår räknemaskin på något sätt arbetade enligt principen för Napiers multiplikationstabeller på stavlar. Hur detta gick till framgick efter genomläsning av den korta beskrivningen av Schickards räknemaskin på sidan tre. Efter några minuter stod det helt klart att Observatoriets "räknemaskin" endast utgjorde den övre delen av en sjuställig räknemaskin av Schickards typ. Den avbildade maskinen finns beskriven i brev till Kepler från 1623 och 1624 och var sexställig.

Nu återstår frågan hur multiplikations- och divisionsdelen av en sjuställig räknemaskin av Schickards typ, troligen tillverkad i Tübingen strax efter 1623-24, kunnat hamna i samlingarna på Astronomiska Observatoriet i Uppsala?

Räknemaskinens ursprung

Den rimligaste länken mellan södra Tyskland och Sverige vid denna tid är genom direktkontakter under trettioåriga kriget. Svenskarna erövrade stora värdefulla samlingar från Tyskland som krigsbyte och skickades hem dessa till Sverige där de numera utgör många av de svenska museernas och bibliotekens främsta inventarier. Jag berättade genast för prefekten att vi troligen hade delar av världens äldsta räknemaskin i våra samlingar, vilket föranledde honom att hämta ut räknemaskinen ur montern och tills vidare låsa in den i kassaskåpet.

En av flera möjliga förklaringar till att vi endast har en del av räknemaskinen kan vara att detta är den enda delen som undkom lågorna när den halvfärdiga maskin som tillverkades åt Kepler förstördes vid branden i Tübingen 22 februari, 1624. Schickard skrev i brevet till Kepler att färdigställandet av hans maskin på grund av branden hade blivit mycket försenad. Det finns dock ingen uppgift om att han verkligen lät konstruera en ny maskin åt Kepler, så Observatoriets del kan ha blivit liggande. Det som direkt utesluter denna hypotes är att de fyrkantiga axeltapparna, som varit fästade i den mekanism som skulle rotera siffercylindrarna, är mycket nötta på Observatoriets bevarade del av räknemaskinen, vilket rimligen endast kan förklaras av det förhållandet att de utgjort en del av en flitigt använd räknemaskin. Den flitige användaren kan ha varit Kepler.

Det är också möjligt att räknemaskinen kommit till Uppsala i mitten av 1600-talet och varit i fullt användbart skick, men har blivit utsliten av uppsalastronomerna. När den sedan inte gått att använda längre har det inte funnits någon som kunnat reparera den och då har endast den mest värdefulla delen sparats och resten har förskingrats.

Det är främst den mittersta cylinderns tapp och den närmast till höger om mitten, som har nöts, vilket kan innebära att man främst räknat med tre- eller firsiffriga tal. Alla cylindrarna har inte roterats lika mycket eftersom Schickard skriver att när man vrider en ratt ett varv roterar den närmast till höger endast 1/10 varv.

Vad fotografering av räknemaskinen visade det sig att den högra cylinderns siffror inte ser lika skarpa ut som på de övriga sex. Vid närmare undersökning kan man se att de inte är skrivna med lika skarp penna eller med något annorlunda bläck. Siffrorna är dessutom något större. Om man jämför med teckningen i brevet till Kepler så ser man att det inte sticker ut några små rattar på ramens översida på Observatoriets räknemaskin.

Det går att med den befintliga delen multiplicera tal mellan 2 - 10 med 1-7 siffriga tal. Den 27 september 2004 kunde jag utföra den första multiplikationen på flera hundra år med observatoriets Schickadräknemaskin. Eftersom maskinen numera är inlåst i ett kassaskåp fick jag använda de inställningar som syns på ett fotografi av cylindrarna. Med hjälp av de två vänstra cylindrarna kunde jag räkna ut att $7 \times 39 = 273$. Första och sista siffran kan direkt avläsas, men eftersom additionsverket saknas måste mellersta siffran räknas ut genom huvudräkning, $1 + 6 = 7$.

Sammanfattning: De sex likadana cylindrarna, i den bevarade delen av Observatoriets räknemaskin, har suttit i den ursprungliga räknemaskin, som Schickard tillverkade åt Kepler och som finns avbildad på skisserna i breven till honom. Schickards prototyp har sedan byggts om och kompletterats med den sjunde, avvikande cylindern, och placerats i en ny ram med plats för sju cylindrar. Denna komplettering har gjorts efter Schickard död 1635, antingen i Tyskland eller i Sverige.

Historiska spår

De svenska huvudtrupperna tycks aldrig ha passerat det protestantiska Tübingen så det finns inte några direkta länkar mellan Sverige och Schickards efterlämnade tillhörigheter eller hans universitet.

I Carl Grimbergs *Svenska folkets underbara öden*, del III, finns på sidan 145 en uppgift om att Gustaf II Adolf erövrade staden Würzburg 1631 och att skatterna i den katolske furstbiskopens bibliotek skänktes till Uppsala universitet. I furstbiskopens slott Marienberg fanns ofantliga skatter samlade eftersom rika människor från omgivande städer och från den kringliggande landsbygden hade deponerat sina värdesaker på slottet därför att det ansågs ointagligt. Svenskarna lyckades trots detta storma slottet. Tübingen ligger drygt 30 mil från Würzburg och man kan knappast vänta sig att det skulle kunna finnas föremål därifrån deponerade på slottet Marienberg.

Av *Uppsala universitets historia*, del I, av Claes Annerstedt (1877) framgår det att donationen från Würzburgbiskopens bibliotek omfattade böcker som kom att ingå i universitetsbibliotekets samlingar, 1636. Den äldsta bevarade inventarieförteckningen från Observatoriet är från 1739 och där finns inte någon räknemaskin upptagen. Den kan ha varit totalt obrukbar och betraktats som värdelös.

I *Ofredsår*, av Peter Englund, sidan 473 i tredje upplagan, Atlantis Stockholm, 2003, beskrivs svenskarnas plundring av Rudolf II:s *Konstkammare och Kuriosakabinett* i Prag 1648, under Königsmarcks ledning. Detta kan vara ett möjligt spår eftersom här finns det en koppling mellan Kepler, Rudolf II och Sverige. Bland de erövrade föremålen uppräknas 317 matematiska instrument. Konstföremålen finns beskrivna av Olof Granlund i *Om kejsar Rudolf II:s konstkammare och dess svenska öden och om uppkomsten af drottning Kristinas tafvelgalleri och dess förskingrande*, Stockholm 1902.

En förteckning över de enskilda föremål som ingick i krigsbytet från Rudolf II:s samlingar, och som anlände till Stockholm med båt 1648, upprättades av Carl Gustaf Wrangel när föremålen packades upp. Denna förteckning förvaras i Skoklostersamlingen på Riksarkivet.

En annan möjlig koppling mellan Sverige och Kepler kan ha förekommit i samband med att de svenska truppernas högsta ledning, med Carl Gustaf Wrangel i spetsen, befann sig i Ulm där ett stilleståndsavtal undertecknades 4 mars 1647 eller vid svenskarnas ockupation av Ulm med omgivning våren och hösten 1648.

Enligt Roman Deutingers D-uppsats i historia, 1993 (Historiska Institutionen vid Uppsala universitet), *Svensk plundring och härjning i Bayern under trettioåriga krigets slutskede*, blev Ulm brandskattat eftersom man inte kunnat leverera proviant till svenska armén i tillräcklig omfattning. Kepler hade bott i Ulm fram till dess att de *Rudolfinska tabellerna* blev publicerade 1627, och han kan ha sålt eller skänkt bort räknemaskinen, som han inte längre hade något behov av, när han samma år flyttade till Sagan. När de svenska trupperna befann sig i Ulm 1647-1648 kan Keplers räknemaskin ha kommit i händerna på svenskarna, antingen som en del av brandskattningen eller genom plundring av universitetets samlingar eller genom plundring av en privatperson som hade köpt den av Kepler.

Räknestickor med logaritmskalor

Med hjälp av logaritmtabeller kunde man tillverka så kallade *räknestickor*. Genom logaritmiskt graderade mätskalor, som kunde förskjutas parallellt med varandra, kunde logaritmen för tal adderas eller subtraheras och resultatet sedan avläsas på en av skalorna. Den äldsta räknestickan tillverkades redan 1633 av William Oughtred (1574-1660). Med en halvmeterlång räknesticka kan man utföra multiplikation och division med tre-fyra siffrors noggrannhet utan att behöva göra några räkneoperationer med papper och penna.

I Observatoriets samlingar finns en 95 cm lång räknesticka i fint bearbetat trä. Den är av märket *J Sisson*, London, med "Gunters Sliding Scale", och är identisk med nr: 46 i Mallets inventarieförteckning från 1760. Både Jonathan Sisson (ca 1690-1749) och hans son Jeremiah Sisson (1720-1783) hade samma märkning av sina instrument. Därför går det inte att datera denna räknesticka mera exakt än till mitten av 1700-talet.



Räknesticka från mitten av 1700-talet av J Sisson London. Astronomerna i Uppsala använde räknestickor för att göra överslagsberäkningar ända in på 1970-talet, då de elektroniska fickräknarna kom ut på marknaden.

De mekaniska räknemaskinernas utveckling under 1700- och 1800-talet

Under 1700-talet konstruerades ett tiotal vidareutvecklingar av Leibniz räknemaskin. Det viktigaste framsteget var den räknemaskin som byggdes 1773 av tysken Parson Phillip Mathieus Hahn (1730-1790). Den hade en uppsättning med 12 cylindrar och tillverkades ända fram till 1820 av uppfinnarens familjeföretag.

Den sista stora förbättringen av Leibniz räknemaskin gjordes 1820 av fransmannen Thomas de Colmar. Detta var den första räknemaskinen som tillverkades i stor skala ända fram till 1920-talet. Den kallades *Arithmometer*.

Nästa generation av räknemaskiner byggde på en uppfinning 1874 av svensken Willgot T. Odhner (1845-1905). Även Odhners räknemaskin kallades *Arithmometer*, men kom att bli mest känd under beteckningen räknesnurrar. Som 19-åring började Odhner studera på Teknologiska Institutet i Stockholm, nuvarande Tekniska Högskolan, men avbröt studierna efter två år trots att han var godkänd för uppflyttning till tredje årets avgångsklass. År 1868 reste han till Ryssland och fick arbete vid Ludvig Nobels verkstäder i S:t Petersburg. Han slutade efter en tid och började istället vid Rosencrantz verkstäder i S:t Petersburg. Det var när han var anställd hos Rosencrantz som han uppfann sin räknemaskin. Den första färdigutvecklade räknesnurrar tillverkades 1875, och den blev patenterad både i Amerika och i Tyskland 1878. Under hela utvecklingsperioden stöddes han av ingenjör Ludvig Nobel, som var brorson till Alfred Nobel.

År 1880 öppnade Odhner en mindre verkstad i S:t Petersburg där han tillverkade sin räknesnurrar. Tillverkningskapaciteten blev med tiden för låg jämfört med den ökade efterfrågan och 1892 överlät han patenträtten för delar av Europa till Grimme Natalis C:o i Brunshwegen i Tyskland. Dessa räknesnurrar salufördes under namnet "*Brunsviga*". Redan efter några år steg emellertid efterfrågan så mycket att han måste utöka verksamheten och 1894 byggde han en ny fabrik för storskalig tillverkning.

Odhner dog 1905 vid 60 års ålder. Han räknas till de internationellt mest kända svenska uppfinnarna. När hans världspatent gick ut 1906 dök det genast upp en mängd liknande räknesnurrar av olika fabrikat såsom Triumphator, Marchant, Rapide, Dactyle, Britannic, Demos, Omiag, Multo med flera. De räknesnurrar som tillverkades av Odhners fabriker kallades "Original-Odhner" för att kunna skiljas från övriga tillverkares produkter.

Efter Willgodt Odhners död övertogs ledningen av familjeföretaget av sonen Alexander Hjalmar Odhner och svärsonen Karl Sievert. Fabriken i S:t Petersburg måste helt överges i samband med ryska revolutionen 1917.

År 1918 bildades AB Original-Odhner med fabriker i Göteborg. Odhnerföretaget uppgick 1942 i Åtvidabergs industrier och en del modeller bytte namn till *Facit*. Normalt brukar mekaniska konstruktioner hela tiden genomgå förbättringar, men Odhners räknesnurrar tillverkades efter samma koncept under 90 år. Under 1950- och 1960-talen var Sverige världens näst största tillverkare av räknemaskiner efter USA.

Odhners patent användes av dussintals tillverkare och dominerade världsmarknaden ända fram till 1960-talet då snabba elektroniska räknemaskiner konkurrerade ut de mekaniska. Uppgifterna om Willgodt Theophil Odhners har huvudsakligen lämnats av samlaren Leif Carlsson.

Observatoriets bestånd av räknemaskiner under 1900-talet

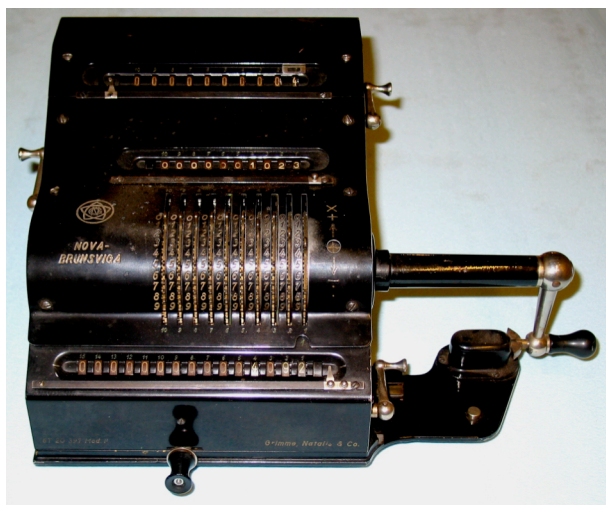
Den äldsta mekaniska räknemaskinen, av märket *Brunsviga*, anskaffades enligt universitetets årsrapport år 1902. En registrerande additionsmaskin av typen *Barret* inköptes 1921 och en räknemaskin av märket *Facit* 1925.

År 1926 inköptes fyra multiplikationsmaskiner: en *Brunsviga*, en *Triumphator* och två *Facit*. Samma år inköptes även en registrerande additionsmaskin av märket *Dalton*. En räknemaskin av typen *Nova Brunsviga* inköptes 1927. Räknetekniken utvecklades och 1931 inköptes en automatisk räknemaskin av typen *Rheinmetall*, med elektrisk drift. År 1938 kompletterades uppsättningen av räknemaskiner med ytterligare en maskin med elektrisk drift, men av icke angivet märke.

Enligt de tillgängliga årsrapporterna, som sträcker sig fram till 1959, inskaffades ingen ny räknemaskin mellan 1938-1959. Detta innebär att 1959 hade Observatoriet nio stycken mer eller mindre väl fungerande mekaniska räknemaskiner.

På fotografier tagna i gamla Observatoriets källare, av Kjell Lundgren 15 maj, 1995, finns fem äldre räknemaskiner avbildade. I juli 2000 utrymdes de gamla lokalerna i samband med flytten till Ångströmlaboratoriet. Vid en inventering i Observatoriets nya förråd, 19 oktober, 2004, kunde endast fyra mekaniska räknemaskiner identifieras. Den maskin som saknas är av märket *Facit*.

Den äldsta bevarade räknemaskinen är den registrerande additionsmaskinen av märket *Dalton*, Cincinatti U.S.A., som anskaffades 1926. Med den kunde man utföra addition och subtraktion och få resultatet utskrivet på en pappersremsa. Den fungerar fortfarande och har ett fullt användbart färgband för svart och rött.



En räknemaskin av typen *Nova Brunsviga* inköpt 1927.



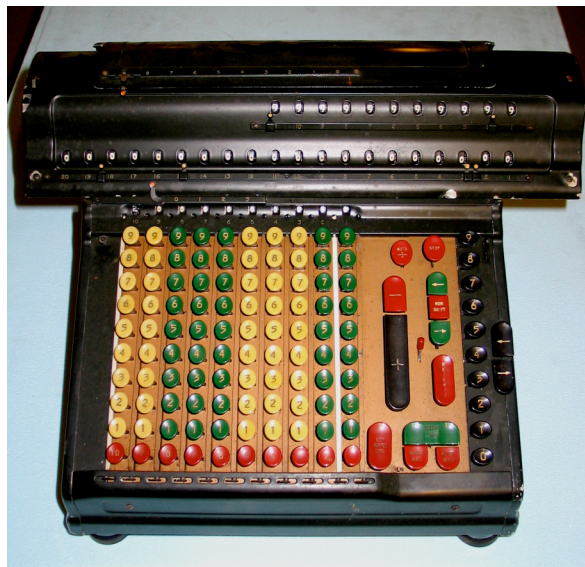
Registrerande additionsmaskinen av märket *Dalton*, Cincinatti U.S.A., anskaffad 1926.

Den äldsta multiplikationsmaskinen, som kan räkna med alla fyra räknesätten, är en *NOVA BRUNSVIGA*, tillverkad av Grimme, Natalis & Co, med beteckningen 6T20 397 Mod. 11, anskaffad 1927.

Den största av de bevarade maskinerna är den tysktillverkade, eldrivna, automatiska räknemaskinen av typen *Rheinmetall*, inköpt 1931. Den yngsta av de bevarade räknemaskinerna är eldriven och av märket *Marchant*, med beteckningen ACTIOM 206791 på en plåt på undersidan. Den kan vara identisk med den enligt årsrapporten för 1938 anskaffade räknemaskinen med elektrisk drift, som i rapporten saknar beteckning.



Den tysktillverkade, eldrivna, automatiska räknemaskinen av typen *Rheinmetall*, inköpt 1931.



Räknemaskinen är av märket *Marchant*.

År 1969 inköptes en helt revolutionerande programmerbar elektronisk bordkalkylator, HP 9100A, med möjlighet att skriva ut resultatet på en separat skrivmaskin. Den arbetade med tio siffrors noggrannhet och program och data kunde lagras på magnetkort. En mycket uppskattad yttre enhet var en fyrfärgsplotter, med hög upplösning, som kunde styras från programmen.

Denna mycket efterfrågade räknemaskin placerades i ett rum med en gammal fin skylt med texten *Räknekammare* på dörren. Räknekammaren nämns för första gången i årsredogörelsen för 1879-80. (Skylten saknas efter flytten till Ångströmlaboratoriet.)

Yngve Ekedahl var den förste ansvarige för verksamheten med HP:n. Han utvecklade många generella program som alla användare fick tillgång till. Dessa omfattade bland annat beräkning av medelvärde av inlästa tal, med medelfel och standardavvikelse, linjär minsta-kvadratanpassning, med standardavvikelse och korrelationskoefficient, beräkning av julianska dagtal, beräkning precessionen för olika epoker, och ett plottprogram för manuell inläsning av data. När Ekedahl lämnade observatoriet i början 1970-talet blev Göran Henriksson ansvarig för HP-tjänsten. Då försågs HP:n med ett yttre minne, som omfattade 2560 programsteg eller möjlighet att lagra 256 tiosiffriga tal. Varje användare hade tillgång till hela maskinens minne och därför anskaffades en uppsättning magnetkort så att de olika användarna kunde lagra sina egna program och data. Bildskärmen visade tre register och räkneoperationerna gjordes mellan de två nedersta. Resultatet av en operation hamnade i det mellersta registret och kunde rullas upp till det övre registret och lagras där som ett mellanresultat.

Programmeringen omfattade instruktioner att rulla talen på skärmen upp och ned, utföra de fyra räknesätten, de trigonometriska funktionerna med deras inversa funktioner,

logaritmfunktionerna och deras inversa funktioner, potensfunktionen, exponent och π , skicka resultatet till minnesregister, hämta tal från ett minnesregister, skriva ut slutresultatet till skrivaren eller plotta data på plottern. Längre beräkningar startades på kvällen så att resultatet skulle kunna vara klart nästa morgon.

Vid mitten av 1970-talet inköptes ett antal fickkalkylatorer av märket HP-35 och HP-45 och senare modeller av samme tillverkare.

År 1976 anskaffades en minidator tillverkad av Hewlett Packard, HP2108A, med 16 kb ramminne, som kompletterades med en extra minnemodul på 16 kb till totalt 32 kb. Dess primära uppgift var att styra den så kallade mikrofotometern, en maskin för automatisk uppmätning av fotografiska plåtar tagna med Schmidteleskopet på Kvistaberg. Mikrofotometern ritades och byggdes av observatoriets egen verkstad. Bernt Malm gjorde de första ritningarna till mikrofotometern, men eftersom pengar saknades blev konstruktionstiden så lång att ny teknik hann bli tillgänglig. Det blev Lars Lundins uppgift att modifiera ritningarna med hänsyn till den nya tekniken och Sven Bellqvist ansvarade för det tekniska utförandet. Kjell Lundgren utvecklade styrprogrammen till mikrofotometern.

HP2108A var utrustad med en bandstation för niokanalsband och den användes även för analys av data, lagrade på magnetband, från andra observatorier. Programpaketet IHAP, som utvecklats på ESO, användes för reduktion av digitaliserade observationsdata. HP:n utnyttjades också för beräkningar med program skrivna i BASIC eller FORTRAN. Kjell Lundgren ansvarade för utvecklingen av allmänna nyttoprogram och särskilt hans plottprogram PLOTA skrivet i FORTRAN användes flitigt. Olika användare vid Observatoriet utvecklade gemensamma program som PHYS och SPEC.

Flera av övningarna inom grundutbildningen genomfördes på HP2108A med hjälp av program skrivna i BASIC eller FORTRAN. För många studenter blev detta den första kontakten med datorer. År 1980 byggdes systemet ut till 64 kb och slutligen till 128kb år 1981. Efter de sista uppgraderingarna motsvarade den en HP1000M. Under 1989 inträffade så allvarliga driftsstörningar att Kjell Lundgren och ingenjör Ejnar Söderman, efter kontakt med HP, ansåg att det skulle bli alltför kostsamt att ersätta erforderliga delar. I februari 1990 beslutades det att HP1000M skulle tas ur drift. För att styra mikrofotometern anskaffades en PC utrustad med lämpliga styrkort.

I december 1984 anskaffades en VAX 750 som i sin tur 1992 ersattes av en VAX 4200, som fortfarande är i drift tillsammans med ett 50-tal UNIX-arbetsstationer. De olika VAX-maskinerna gick under beteckningen LABAN³. En kraftfull 12-processors HP V-2200 räknserver anskaffades 1998. Den går internt under beteckningen *Zeipel*, uppkallad efter den framstående teoretiske astrofysikern Hugo von Zeipel (1873-1959), som var observator på Observatoriet 1911-1920 och hade en personlig professur 1920-1938. *Zeipel* uppgraderades till 16 processorer i december 2004. Sedan 1986 är det Bertil Pettersson som är ansvarig för datorverksamheten på Observatoriet. I denna uppgift ingår att se till att alla befintliga datasystem fungerar samt installation av nya system. Ingenjör Zahm Ottosson har under 1990-talet och fram till sin pensionering i januari 2005 ansvarat för lösningen av alla tekniska problem i samband med datorstyrning av teleskopen och annan utrustning.

Astronomiska beräkningar med externa datorer

Under 1960-talet kunde astronomerna från astronomiska observatoriet i Uppsala genomföra beräkningar med en IBM 1620 som placerats på Fysikum i Uppsala. Användarna fick själva vara dataoperatörer och läsa in hålkort och hålremsor och slå på och av strömbrytare för att

³ Uppkallad efter katten ”Laban från Observatorieparken”, som förekommer i Pelle Svanslösböckerna av Gösta Knutssons.

kontrollera datahanteringen och beräkningarna. Minneskapaciteten var mycket begränsad och exempelvis måste man vid reduktion av fotoelektriska mätningar läsa in luftmassatabellen flera gånger.

År 1965 inrättades en särskild datacentral vid Uppsala universitet, UDAC, där forskare från hela universitetet kunde genomföra sina beräkningar. Där fanns en CDC 3600 som räknade med 16-siffrors noggrannhet och var mycket uppskattad av astronomer och andra naturvetare. Vid mitten av 1970-talet baserades UDAC:s verksamhet på ett IBM-system med 7-siffrors noggrannhet beroende på att verksamheten vid UDAC hade utvidgats till lönekörningar och andra administrativa kommersiella beräkningar. Naturvetenskapliga beräkningar måste utföras i dubbel precision med denna maskin. För att markera sin position ställde CDC upp en snabb Cyber 825 med 16-siffrors noggrannhet där kapacitetskrävande beräkningar kunde utföras gratis. IBM-systemet underhölls hela tiden och verksamheten utvidgades, men underhållet blev eftersatt på den vattenkylda Cyber 825, och på nyåret 1987 blev den obrukbar efter brand orsakad av överhettning. Vattenkylningen fungerade inte på grund av att rören kalkat igen.

Redan i mitten av 1980-talet kunde dessutom astronomer vid observatoriet i Uppsala kopplas upp mot superdatorn Cray II i Linköping.