

F. GRAELL I DENIEL

**A L'ENTORN DE LA PASSA
HELIOCÈNTRICA DE COPÈRNIC**

ESCRITS PER A UNA FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

QUADERNS DE FILOSOFIA

F. GRAELL I DENIEL

**A L'ENTORN DE LA PASSA
HELIOCÈNTRICA DE COPÈRNIC**

ESCRITS PER A UNA FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

44

QUADERNS DE FILOSOFIA

Barcelona 2016

1ª edició: abril 2016.
© F.Graell i Deniel
ISBN: 978-84-943607-3-2

www.xtec.cat/~fgraell
E-mail: fgraell@xtec.cat

La web permet de baixar la còpia d'un qualsevol quadern editat.
Podeu fer ús de l'adreça electrònica per a qualsevol correspondència amb
Quaderns de Filosofia.

CONTINGUT

Presentació, 6.

I. L'HELIOCENTRISME SUPOSA EL GEOCENTRISME, 8.

1. La divergència copernicana, 9.
2. ¿Es pot saber com i per què hi arribà?, 11.

II. L'ORDRE DELS ORBES CELESTES, 15.

III. DEL TRIPLE MOVIMENT DE LA TERRA, 17.

IV. UN MODEL PER AL PLANETA, 22.

1. El moviment mitjà de Saturn, 22.
2. Com el moviment propi dels planetes apareix no uniforme, 26.

V. DERIVACIONS I CORRECCIONS A PARTIR D'OBSERVAR TRES POSICIONS ACRÒNIQUES DE SATURN, 33.

1. Observacions copernicanes de Saturn, 33.
2. La troballa de l'excentricitat del Sol mitjà i la de les anomalies excèntriques mitjanes, 36.
3. Examen per a comprovar les resultants a partir de derivar-ne els valors observats, 40.
4. El moviment en paral·laxi en la tercera observació de Saturn.

VI. EL REPTE HELIOCÈNTRIC, 47.

PRESENTACIÓ

La proesa aconseguida amb la revolució científica dels segles XVI i XVII començà amb la publicació del *De revolutionibus* l'any 1543, la lectura del qual ha esdevingut un motiu d'admiració per als estudiosos més enllà del seu interès per a la història de la ciència.

El present escrit espigola alguna cosa del que s'hi diu, ho lliura a tall d'un petit reconeixement a l'obra de Copèrnic sense afany de fer-ne com cal un estudi d'història de la ciència. S'encamina a oferir unes poques suggerències a propòsit del seu impacte i procura de col·locar algun ordre en la constitució dels models astronòmics més a tall d'assaig que d'aportació conclusiva de la filosofia de la ciència.

Sens dubte es tractava d'un repte: car es volia dir quelcom del pas des del geocentrisme a l'heliocentrisme. D'alguna manera l'obra de Ptolemeu i dels antics forneix de prou contingut per tal de començar a sospesar què és què en l'astronomia de l'època, deu haver-hi ja aquí un camp immens d'investigació i, en un cert sentit, no hi hauria cap urgència a creuar el seu llindar. Fer-ho, tanmateix, tenia també quelcom de provocador.

El lector hi trobarà alguns esments al llibre primer, el dedicat a presentar el seu projecte, i del llibre cinquè, on estudia els planetes. Perquè ha semblat que calia anar a una exemplarització del mateix estudi, en concret s'ha escollit el planeta Saturn, per tal de presentar mínimament el paisatge que s'hi té present, i a fi de fer recordar que la filosofia de la ciència suposa si més no la ciència. Que sense aquesta no hi ha cap eixamplament que faci possible aquella primera: valia la pena així de fer propera l'obra en aquest punt, justament per tal que el comentari faci avinent que el *De revolutionibus* dreça un projecte sorprenent, a pensar-lo des dels seus paràmetres.

D'altra banda, al costat dels del mateix Copèrnic en el seu treball, els esquemes gràfics de l'obra de N.M. Swerdlow i O. Neugebauer¹, sempre reproduïts dins de les notes, han estat força útils

¹ *Mathematical astronomy in Copernicus's De revolutionibus*, 2 vol., New York [etc.], Springer, 1984 [*Studies in the history of mathematics and physical sciences* 10].

per a il·lustrar el text, i per a fer comprendre ben bé l'abast de la recerca: es tracta d'una obra que mereix un especial reconeixement per molts mèrits, un dels quals rau que lliura la clarificació de cadascuna de les dades astronòmiques que Copèrnic usà, i de llur càlcul, per tant facilita què cal entendre-hi i explicita operacions que no s'hi troben tal qual en el treball original.

D'alguna manera l'esment d'alguna cosa del *De revolutionibus* posa en contacte amb un gran fet històric i deu ser una fita que s'ha de perseguir quan apareix la preocupació per tot allò de què l'home s'ocupa, quan l'esguard al cel sembla gaudir dels seus privilegis.

I

L'HELIOCENTRISME SUPOSA EL GEOCENTRISME

A l'hora de tenir present el pas d'un sistema a l'altre es podria admetre que la mirada de l'ésser humà sembla més aviat geocèntrica; car li plau veure el cel des de la Terra en l'accepció d'acomodar-lo al supòsit de rodejar la Terra i de situar els astres respecte d'un tal trobar-se al voltat seu. Consideri's el cercle elemental que es vulgui dels que entren a col·lació des dels antics fins a Copèrnic (l'eclíptica, l'equador celeste, el pla de l'horitzó, el meridià, el colur, etc.): s'hi constata una clara referència al nostre planeta i a l'esfera celeste talment com si tot s'hi esdevingués; les coordenades equatorials, les eclíptiques, les locals, es pensen segons aquests paràmetres: és més, tenen eficàcia per la situació en aquesta esfera, o pel canvi de la situació (pensi's en el Sol, per exemple), de tal manera que no hi hauria en conjunt cap diferència seriosa entre els càlculs que pogués fer un grec geocentrista i un modern heliocentrista (el llibre II del *De revolutionibus* més aviat és un resum de parts de l'*Almagest*).

Es dirà que aquesta perspectivització i projecció sobre l'esfera celeste es mantingué perquè és còmoda i que al cap i a la fi no es pot eixir de mirar el cel des de la Terra: l'esfera celeste faria de marc general de projecció. Tanmateix la dificultat de superar un estil de pensament en profit d'una coherència diferent a partir del model astronòmic – per exemple, aquell que faria desaparèixer l'esfera celeste en benefici d'un mac solar per a tots els fenòmens solars que ocorren a la Terra – deu revelar alguna cosa més que una dificultat òbvia, quan aquesta dificultat palesaria justament una circumscripció; la que es deriva del fet de trobar-se l'home situat.

Això voldria dir, no que el model heliocèntric anés en contra del sentit comú (no li fa pas la competència i molt del que es digué en el passat formaria part més aviat d'un altre ordre d'afers), sinó que és un excurs a partir de les formes geocèntriques d'enllaçar els fenòmens celestes. Per això es pot dir que l'heliocentrisme és un producte del geocentrisme: no s'hi hagués arribat mai sense aquest fonament primer i bàsic.

1. La divergència copernicana.

Grecs i renaixentistes eren capaços d'entendre la proposta d'una Terra en moviment, mentre els textos ratificarien en qualsevol cas que de bon començament es prendrien els afers de la manera més planera.

Copèrnic, per exemple, remet – quan vol esmentar el gir diari del planeta (una conseqüència de l'assumpció de l'heliocentrisme) – a consideracions òptiques que demanen anar més enllà de la mirada perceptiva ordinària. Llegeixi's aquestes paraules:

«Encara que entre els autors normalment s'està d'acord que la Terra s'està quieta al mig del món, fins a l'extrem que consideren inopinable i, àdhuc, ridícul pensar el contrari, amb tot, si estudiem la cosa més atentament, aquesta qüestió no semblarà pas plenament resolta i, per tant, tampoc gens menyspreable. En efecte, tot desplaçament local que s'observa, o s'esdevé per causa del moviment de la cosa observada, o del que ho veu, o per causa del desplaçament desigual de tots dos, car entre dues coses que es mouen a igual velocitat en relació amb uns mateixos punts no és percebut cap moviment, vull dir entre el que és vist i el qui ho veu. La Terra, emperò, és el lloc des d'on s'observa aquell circuit celeste i és la nostra mirada la que el reproduïx. Per tant, si suposem algun moviment de la Terra, aquest apareixerà igual, en totes les coses que estan fora (de la Terra), com si fossin mòbils que passen per davant, però en sentit contrari, tal com ho fa especialment la revolució quotidiana. En efecte, aquesta sembla arrossegar tot el món, excepte la Terra i les coses que es troben al seu voltant. Ara bé, si s'admet que el cel no participa gens d'aquest moviment, però que la Terra gira des d'occident cap a orient, si hom considera seriosament tot allò relacionat amb les eixides i postes aparents del Sol, la Lluna i els estels, es trobarà que les coses són (justament) així» (I,5)².

² Traducció de Enrique Rodríguez Galdeano i Víctor Navarro Brotons, cf. *Nicolau Copèrnic, De les revolucions dels orbes celestes*, Institut d'Estudis Catalans/Eumo/Pòrtic, Barcelona i Vic 2000, [Clàssic de les ciències 3].

Es pensa diferent de com «s'hi percep». Hi ha una representació i un pensament derivat que explica per què l'individu mira com ho fa.

Aquest senzill exemple palesa que l'heliocentrisme treballa com el geocentrisme: una percepció intencional enllaçada amb pensament de manera que arreu «es veu» com es pensa mentre que aquí s'ha rectificat la intenció que anima la mirada ordinària i geocèntrica.

Intel·lectualment parlant l'heliocentrisme suposa una divergència perquè supera una manera de copsar els afers que, en el cas de l'autor, es troba motivada per les dificultats que trobà en el desplegament dels models dels seus contemporanis.

I aquesta divergència es matisa en el cas de l'admissió del moviment de translació³ perquè en tots els models l'esquema de les òrbites, especialment dels planetes, no és una dada immediata. No ho és ni el gir anual del Sol. Les òrbites planetàries, solars i lunars, són una creació del pensament traslladat intencionalment a la percepció. Tant en el geocentrisme com en l'heliocentrisme hi ha prou observacions, a banda d'una més gran (en el cas del Sol, de la Lluna, i d'altres) o menor certesa que segueixen un cicle: al cap i a la fi, però, s'arriba a un model a través d'un seguit de consideracions geomètriques, mètriques i de tot tipus. La distància que hi ha dels cicles dels astres respecte d'un qualsevol espectacle perceptiu és allò que permet albirar que la divergència copernicana suposa la d'un joc teòric davant d'una altra doctrina; és a dir, que es tracta d'una divergència entre models.

³ «Ja que si algú nega que la Terra ocupa el mig o centre del món, i no declara que és tan gran la seva distància (al centre) que fóra comparable amb (la de) l'esfera dels estels fixos, però (pensa) que és molt gran i perceptible (l'esmentada distància) en relació amb els orbes del Sol i dels altres planetes; si, a més, pensa que, per això, es veuen diferents els moviments de tots ells, perquè estan ordenats entorn a un altre centre, que no fóra pas el de la Terra, tal vegada podria donar una explicació aprofitable dels diversos moviments aparents. El fet que els mateixos planetes (de vegades) es veuen més prop de la Terra i (d'altres vegades) més lluny, demostra necessàriament que el centre de la Terra no és el mateix centre de llurs cercles. Tampoc no consta si és la Terra la que s'apropa i s'allunya d'aquells o aquells de la Terra. I no fóra pas tan estrany, si algú imaginés algun altre moviment de la Terra a part d'aquella revolució quotidiana» (I,5).

S'esdevé que continua essent vàlid que deu haver-hi una gradació de supòsits en l'accepció que una qualsevol divergència suposa superacions anteriors. La mirada geocèntrica respondria si més no a una concepció del cel, a partir de l'individu i del lloc on és, i el pas dels astres i els cicles formaria part del saber de què gaudeix pel cap baix des de l'obvietat a trobar-se aturat un mateix i el seu lloc.

Copèrnic percep i pensa diferentment la volta diària del cel. I percep i pensa diferentment les relacions astronòmiques a partir de la translació de la Terra.

«Per tant, si la Terra fa d'altres (moviments), com, per exemple, al voltant d'un centre, caldrà que siguin d'aquells que fora de la Terra de manera semblant veiem en molts (estels), entre els qual trobem el circuit anual. Ja que, si (aquest moviment) es permutés de solar a terrestre – tot i atribuint al Sol la immobilitat –, les eixides i les postes dels signes (del zodíac) i dels estels fixos, gràcies als quals esdevenen matinals o vespertins, se seguiran veient de la mateixa manera; així mateix, les estacions, retrogradacions i progressions no s'interpretaran com un moviment d'aquells, sinó de la Terra, que ells li prenen amb les seves aparences. Finalment, es considerarà que el Sol mateix ocupa el centre del món. Tot això ens ho mostra la raó de l'ordre amb què aquells fenòmens segueixen l'un a l'altre, i l'harmonia (en conjunt) de tot el món, simplement contemplant la realitat mateixa (com diuen) amb els dos ulls» (I,9).

2. ¿Es pot saber com i per què hi arribà?

S'ha debatut molt a propòsit de la conversió heliocèntrica de Copèrnic: de com hi arribà i de per què l'assumí. Una lectura ràpida d'algunes parts podrien apuntar per què considerà oportú i escaient de proposar el canvi de model.

Si més no el prefaci dedicat a Pau III esmenta la insatisfacció dels varis treballs astronòmics geocèntrics pel fet que no permeten de fixar com cal la llargada de l'any, i pel fet mateix de llur diversitat (enumera les esferes homocèntriques, els epicicles i els excèntrics), amb la circumstància d'introduir cadascun pel seu cantó elements heterogenis als seus propis pressupòsits harmonitzadors tot fent un conjunt heteròclit. Per exemple,

«els qui imaginaren els excèntrics, encara que semblen haver resolt la major part dels moviments aparents amb càlculs que els són congruents, també hagueren d'admetre entremig moltes coses que semblen oposar-se als primers principis sobre la uniformitat del moviment. A més, no foren capaços de descobrir o deduir d'aquells pressupòsit la cosa més important, o sia, la forma del món i la simetria exacta de les seves parts».

Aquest desencís, i l'exemple d'alguns autors grecs, el portaren a assumir uns nous principis que, segons l'autor, convenen a les parts i al tot i en fan un global on cal no pertorbar cap part perquè llavors s'alteraria el tot, mentre el conjunt s'acorda amb les observacions.

L'autor se'n sent satisfet tot i estar predisposat a admetre una qualsevol crítica fundada. Certament el *De revolutionibus* es troba força lluny de les referències del prefaci d'Osiander, que volgué aigualir l'adhesió de Copèrnic a l'heliocentrisme. Però el lector s'adona que no hi ha diletantisme, sinó la defensa de quelcom que s'adequa a les observacions dels astres que es mouen i amb més uniformitat de principis⁴.

Precisament l'aparició del treball oferia prou detalls explicatius i molts encerts parcials – s'hi mostra la resultant de moltes hores de constància i de càlcul: qui fulleja el *De revolutionibus* se'n sorprèn, d'això, deixant la seva originalitat i el fet que permet d'explicar els esdeveniments astronòmics ordinaris –, que fa palès llur eficàcia per a permetre prendre's seriosament el model que proposa.

Alhora deixava interrogants i dificultats de tota índole.

Els dubtes de Copèrnic de publicar o no el llibre confirmarien més aviat tot plegat, i el fet que prou coneguts l'animessin a fer-ho

⁴ Entre les referències vàries noti's (cf., per exemple, I,6) la contundència que s'hi troba en la imatge grega que la Terra al costat del cel és un punt: car s'hi insisteix, en la magnitud infinita (i.e. molt gran) del cel, que la comparació es troba entre el finit i l'infinit, raó de més per a no fer girar el cel cada vint-i-quatre hores.

I si la Terra no està en el centre del món, la seva distància a aquest centre és incomparable sobretot en relació a l'esfera de les estrelles fixes.

reblaria potser que els factors circumstancials ajuden de vegades a explicar afers que han tingut una importància cabdal.

¿Va arribar-hi a través de la lectura dels filòsofs antics? ¿Deu a Aristarc de Samos la idea primera? ¿O va assumir l'heliocentrisme directament des de Ptolemeu? ¿Ho va fer a partir del comportament de Venus i Mercuri (cf. més avall)? ¿De les diferències d'esclat de Mart? ¿Pel fet que el període de revolució del Sol i el dels centres dels epicles dels planetes inferiors tenen el mateix període, un any, i que el període de revolució dels superiors sobre els seus epicles és igual al període sinòdic, és a dir, al del temps entre dues oposicions successives del Sol (tot plegat suggerint la projecció de l'òrbita de la Terra)? El lector trobarà suggerents respostes en els molts estudiosos del *De revolucionibus*.

Swerdlow, per exemple, estima que des del 1510 Copèrnic estaria interessat que, en una teoria planetària, la representació dels moviments aparents hi fos present a través de moviments circulars uniformes, un principi que Ptolemeu no respecta, que tanmateix és vàlid a efectes del càlcul. Aquest interès pel moviment circular uniforme tindria una connexió amb els mateixos problemes físics que guiaven els astrònoms de Marāgha, i no pas amb cap observació. Copèrnic hauria estat treballant des de llavors en un model alternatiu excèntric de la segona anomalia que Ptolemeu tracta breument a *Almagest* XII,1, i que Regiomontanus descriu en detall a *Epitome* XII,1-2. El model descrit per aquest per als planetes superiors i inferiors mena respectivament a una forma tychiana i copernicana de la teoria heliocèntrica. Copèrnic s'hauria descantat per la seva perquè la solidesa de les esferes planetàries feia impossible l'altra (l'òrbita de Mart interseca la del Sol).

Fins aquí com hi arriba. Però, per què cregué que era la representació vertadera del sistema planetari? Doncs [cf. I,10 i el *Commentariolus*] perquè la defensa que l'equació d'anomalia [cf. més avall la nota 17] mostrava la raó del radi del planeta i de l'òrbita de la Terra era una assumpció sensata, i feia que hi hagués un tot on les parts no poden ser rearmenjades arbitràriament (en Ptolemeu és ben bé així). Alguns trets del model planetari no s'expliquen en la geocentrisme, però es comprenen com a conseqüència necessària de la transformació de l'heliocentrisme al geocentrisme: per què el radi dels epicles dels planetes superiors roman paral·lel a la direcció de la Terra al Sol; per què els centres dels epicles dels planetes inferiors estan en la direcció del Sol; per què els planetes més propers a la Terra (Mart i Venus) tenen períodes sinòdics mes llargs, més llargs períodes d'invisibilitat (almenys Mart), més gran equació d'anomalia (i.e. relativament mes grans

epicicles), i més gran arc de retrocessió, que els planetes més allunyats de l'òrbita de la Terra, Júpiter i Saturn.

Swerdlow conclou: «La seva tasca, tanmateix, es veié limitada en gran part perquè la seva intenció fou la de derivar paràmetres per als models ja trobats, o com es va veure després, lleus modificacions seves, i no la de determinar, sobre la base d'observacions, quins models eren de fet apropiats al moviment del planetes, tal i com Ptolemeu ho féu i Kepler ho faria més tard. Això, naturalment, és la limitació que podria anomenar-se, per a manllevar la frase de Kepler, de representar més Ptolemeu que la natura, i mentre estalvia a Copèrnic una bona quantitat de problemes, també preludia el seu anar més enllà de Ptolemeu cap a una comprensió més profunda de la teoria planetària i una més gran precisió en la representació dels moviments aparents»⁵.

⁵ *Mathematical astronomy*, I pàg.64; cf.pàgs.54-64..

II L'ORDRE DELS ORBES CELESTES

L'individu del segle XXI, amb tantes dificultats per a observar el cel d'una qualsevol manera, s'admira de les troballes antigues a propòsit dels planetes, la seva caracterització (no centellegen, canvien el lloc), el seu seguiment, la conjectura que retornen al cap d'uns mesos o d'anys a una posició, el supòsit que consegüentment segueixen òrbites curvilínies tancades (que no hi ha manera d'observar), i la distribució del seu ordre pels períodes d'acord amb el principi òptic que diu que allò que està més lluny sembla córrer més a poc a poc, i tarda més a fer una òrbita més gran.

La fascinació no lleva que s'hi trobi atreviment quan les dades agombolades per generacions d'observadors no bastarien, sembla, per a bastir òrbites i ordre. Però llavors s'afegeix que la certesa d'òrbites i del seu ordre no prové tant del que s'hi lliura, en l'espectacle perceptiu, com del fet que es pot mantenir el que s'hi pensa mentre es fan nous progressos sense que aparegui cap sospita que fes inviable aquella exposició.

Des d'aquest punt de mira el càlcul de les distàncies relatives de les òrbites respecte del radi de la Terra es fa rellevant, és conseqüència dels punts anteriors i alhora permet la discussió coherent a propòsit de les part ocupades o lliures.

Copèrnic discuteix en efecte on es troben les òrbites de Mercuri i de Venus (¿després del Sol?¿abans?¿el Sol enmig?), l'existència o no de fases, en aquests planetes, la possibilitat que eclipsin el Sol o no, que tinguin llum pròpia o no. I afegeix:

«Com n'és d'inconsistent aquella argumentació de Ptolemeu, segons la qual caldria posar el Sol al mig, entre (d'una banda) els astres que per tots costats se n'allunyen, del Sol, i (de l'altra) els que no se n'allunyen, resulta palès pel fet que la Lluna mateixa, sempre se n'allunya en tots sentits. Ara bé, aquells que posen Venus i després Mercuri sota el Sol, o bé els distribueixen amb un altre ordre, quina causa al·legaran pel fet que no facin llurs circuits independents i diferents del Sol, com la resta dels estels errants, si realment el criteri de la velocitat i la lentitud no ens dóna un ordre [dels planetes] fals?» (I,10).

Mercuri i Venus – tal i com han defensat alguns autors – deuen doncs girar al voltant del Sol. Per tant:

«Si, aprofitant l'ocasió, hom refereix també Saturn, Júpiter i Mart a aquell mateix centre, no anirà errat, sempre que hom suposi una magnitud dels seus orbes tan gran, que incloguin i englobin dintre seu la Terra, tal com ho manifesta l'ordre canònic del seus moviments. En efecte, és sabut que estan sempre més pròxims a la Terra a l'hora de l'eixida vespertina, és a dir, quan se situen en oposició al Sol, i la Terra està entre el Sol i aquells; i que, d'altra banda, es troben en el punt més llunyà de la Terra al temps de la posta vespertina, quan s'amaguen prop del Sol, o sia, tot el temps que entre ells i la Terra hi tenim el Sol. Fets que bé prou ens mostren que el seu centre pertany mes aviat al Sol, i que és el mateix (centre) entorn al qual també Venus i Mercuri realitzen les seves revolucions» (I,10).

La Terra ocuparia llavors l'espai que queda entre Venus i Mart, en una nova òrbita al voltant del Sol (i qualsevol anomalia en el cel, per exemple la precessió, passaria al moviment de la Terra).

La Lluna formaria amb la Terra un tot fora de discussió: s'hi troba molt a prop, està d'acord amb el seu període, hi ha prou espai per a encabir-la.

L'autor esmenta de nou i més d'una vegada la immensa distància dels estels fixos per a justificar que no n'hi hagi canvi de perspectiva al llarg de l'any.

Amb tot això dibuixa un món amb simetria i s'introdueix harmonia entre el moviment i la grandària de les òrbites. Copèrnic fa valer la capacitat d'entendre les progressions i les retrogressions, d'explicar per què es veuen diferents els planetes en temps diversos, en especial per què Mart, quan dura tota la nit, sembla tan gran com Júpiter (amb el seu aspecte rogenc) mentre que en d'altres ocasions costa trobar-lo entre els estels. Tot té la mateixa causa: el moviment de la Terra i dels altres planetes.

III DEL TRIPLE MOVIMENT DE LA TERRA

De revolutionibus I,11 contraposa per tres vegades la percepció geocèntrica dels fenòmens celestes i la nova interpretació heliocèntrica.

El lector d'avui pot trobar banal la contraposició d'aparences i explicacions acurades – dalt ja s'ha apuntat el joc entre percepció intencional i el pensament – perquè s'assumeix sense esforç, i amb els convenients retocs esdevé gairebé una colla d'afirmacions sabudes.

Tanmateix val la pena de tornar a porta a col·lació la consideració pel pensament del que es percep, en pro d'una percepció carregada intencionalment. En efecte el text de Copèrnic permet d'insistir de nou en tot l'afer: en cada passa s'hi troba assenyalada allò que s'ha d'explicar. Citi's en cursiva les paraules de l'autor que ho palesarien:

«En conjunt, cal que admetem un triple (moviment): el primer, el que hem dit ja, que els grecs anomenaven *vvχθημερινός*, és a dir, el circuit propi del dia i de la nit, que es realitza al voltant de l'eix de la Terra, des de l'occident cap a l'orient, *igual que hom pensa que el món es mou en el sentit invers, i descriu el cercle equinoccial*, que alguns anomenen també “equidial”, imitant el que els grecs volen dir amb el terme *ισημερινός*.

El segon és el moviment anual del centre, que descriu el cercle dels signes (del zodíac) al voltant del Sol, de manera semblant des de l'occident vers l'orient, o sia, en sentit directe, fent, com ja diguérem, el seu curs entre Venus i Mart, junt amb tots els cossos que li corresponen. *D'això en resulta que el Sol mateix sembli recórrer el zodíac amb un moviment similar; com, per exemple, quan el centre de la Terra travessa Capricorn, el Sol sembla que travessi Cranc; quan la Terra passa per l'Aquari el Sol sembla en Lleó, i així successivament, com dèiem abans*. Cal saber que l'equador i l'eix de a Terra, en relació amb aquest cercle que passa pel mig dels signes (del zodíac) i el seu pla, tenen una inclinació variable. *Car si romanguessin fixos i no seguissin més que simplement el moviment del centre, no esdevindria cap desigualtat dels dies i les nits, sinó que sempre, tant si (fos) el solstici d'estiu o d'hivern, o l'equinocci, o l'estiu o l'hivern, o qualsevol estació, la distribució del temps romandria idèntica i seria la mateixa*. Se'n dedueix, per

tant, d'això un tercer moviment, el de la declinació⁶, també amb una revolució anual, però al revés de l'ordre del signes, és a dir, que es fa en sentit contrari al moviment del centre. Així, amb aquests dos moviments quasi iguals entre si i oposats mútuament, succeeix que l'eix de la Terra i, en aquest, el més gran dels paral·lels, l'equador, s'orienten pràcticament cap a la mateixa part del món, com si romanguessin immòbils. *El Sol, mentrestant, se'l veu desplaçar-se per l'obliquïtat de l'eclíptica amb aquell moviment que fa el centre de la Terra, exactament com si aquet fos el mateix centre del món*, fet que és fàcil d'entendre sempre que tinguis present que la distància entre el Sol i la Terra, en relació amb l'esfera dels estels fixos, ens resulta imperceptible»

Versemlantment s'hi troba quelcom més que l'obvietat d'explicar l'heliocentrisme els fenòmens observats. La important ponderació del que es percep o s'hi imagina és reblada per l'afirmació que afegeix tot seguit (i que repeteix en d'altres llocs):

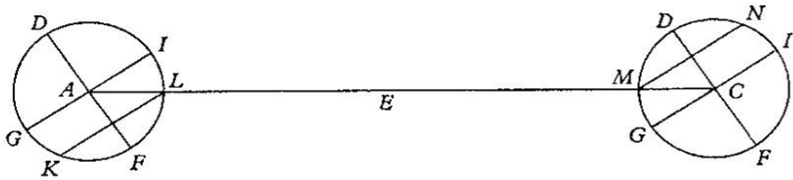
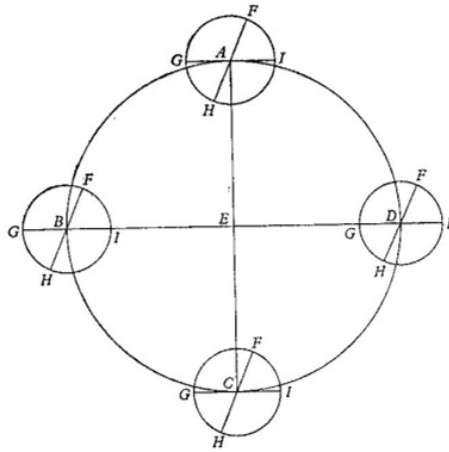
«Essent, doncs, aquestes coses així, que més necessiten ser presentades als ulls que no pas contades, descriguem el cercle *a,b,c,d...*».

I llavors resol amb gràfics com el Sol passa pel zodíac, el transcurs de les estacions i el canvi en la durada del dia i de la nit gràcies als dos últims moviments, i acaba dient:

«És clar, doncs, com en concórrer entre si dos moviments, vull dir, el del centre i el de la inclinació, fan que l'eix de la Terra romangui en la mateixa inclinació i en idèntica posició, i com tots fan la impressió de ser moviments solars».

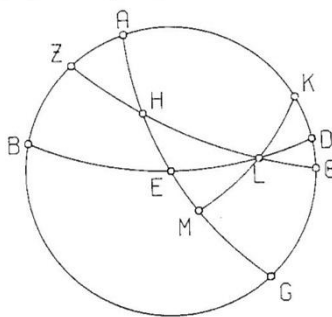
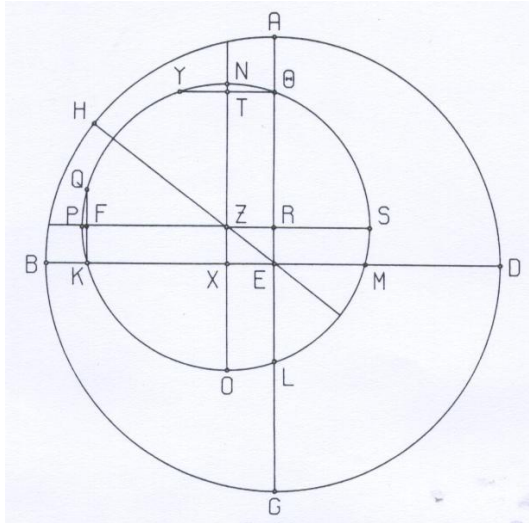
Repassi's les figures que ha afegit per a visualitzar l'explicació de les estacions, del pas del Sol per l'eclíptica i la durada vària del dia i de la nit.

⁶ Aviat es trobà innecessari un tal moviment: recordi's que Kepler ja no l'admetia. Tanmateix l'argument es manté per a la rectificació de la visió perceptiva geocèntrica.



Imatge superior: E (el Sol), ABCD (l'òrbita de la Terra), FH (eix de la Terra), GI (equador). *Imatge inferior:* E (el Sol), DGFI (la Terra), DF (l'eix de la Terra), GI (equador), KL (tròpic de capricorn), MN (tròpic de càncer).

¿S'hi hagués pogut arribar sense prou domini representatiu d'un esquematisme geometritzant de caire geocèntric? Es tracta d'assumir d'haver fet moltes observacions, moltes temptatives, molts esquemes, moltes maquetes auxiliars, etc., abans d'aventurar d'altres solucions. Si es vol simplificadament: la crisi astronòmica hel·lenística no hagués estat possible sense els precedents d'Èudox i d'altres, ni aquests sense les aportacions babilòniques i egípcies, etc. Paral·lelament les figures de dalt haurien necessitat que s'hagués rumiat molt en representacions, per exemple, del tall de les següents [extretes de l'*Almagest*]:



Imatge superior: E (la Terra), NPOS (projecció de l'òrbita del Sol), ABGD (cercle eclíptic), A (equinocci de primavera), B (solstici d'estiu), etc.

Imatge inferior: ABGD (meridià), BED (horitzó), AEG (equador), ZHO (eclíptica), H (equinocci de primavera), K (pol nord de l'equador).

Si més no el que resta dels treballs grecs exemplaritzen extraordinàriament l'esforç geomètric i observacional per a ajustar models i fenòmens, i que permeteren ja solucions com les d'Aristarc de Samos i les d'altres. Molts segles després Copèrnic ho intentà de bell nou.

La dependència d'uns model als altres, i aquests a la reiteració i l'emmagatzement d'observacions, ¿pot suggerir alguna cosa més avui dia a la filosofia de la ciència?

El progrés del coneixement de la ciència i el seu caràcter acumulatiu depenen d'alguna sistematització de resultants.

Tanmateix el fet no lleva que llavors es manté que un hom no insisteix en com s'ha aconseguit quelcom i es manté l'assumit com un afer que s'aprèn. Els perquès aleshores poden recaure en respostes que sovint necessitarien, aquestes mateixes, d'esclariments.

En efecte les respostes poden no ser concloents en la mesura que no hi ha un començament de tot plegat.

Certament les exigències són vàries d'acord amb les situacions individuals. Si més no els filòsof s'obliga en gairebé tots els camps a provar de no acceptar allò que no entrelluca amb una certa elementalitat, o que mereix encara alguna explicació.

IV UN MODEL PER AL PLANETA

L'obra de Copèrnic fascina per una munió d'afers, un dels quals rau en el llibre cinquè, dedicat als planetes.

Perquè l'explicació dels moviments que apareixen en cadascun mostra la validesa del model heliocèntric per a desembullar les complexitats de les situacions dels astres errants, per a fer aflorar la raó de les estacions, progressions i regressions, i per a superar el centrisme de la Terra pel del Sol.

Car el moviment que anomena moviment de commutació es deu al trasllat de la Terra per l'òrbita, el qual se suma al moviment propi del planeta respecte del Sol. Per això sols s'observa la posició vertadera de Saturn, Júpter i Mart quan són visibles en posició acrònica, és a dir, en oposició al Sol (l'astre neix quan el Sol es pon o es pon quan el Sol surt): Mercuri i Venus, altrament, no es veuen en aquesta posició per trobar-se en conjunció amb el Sol, i per això mai no es veuen sense commutació.

Estudii's tot això una mica a propòsit d'uns dels planetes; per exemple, els moviments de Saturn, el més llunyà dels coneguts en l'època.

1. El moviment mitjà de Saturn.

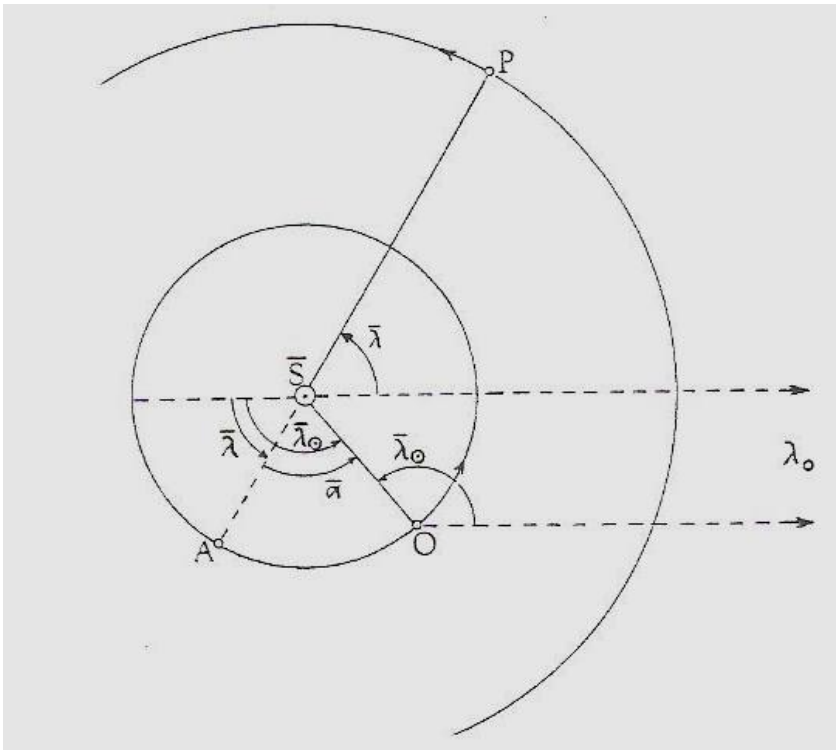
Com es calcula el moviment mitjà d'un planeta? Cal seguir els antics; observaren que al cap d'un temps els astres errants tornaven a una posició:

«Perquè quan tingueren el record del lloc del planeta a una distància precisa del Sol i d'un estel fix, i aprengueren que després d'un interval de temps el planeta havia arribat al mateix lloc a una distància similar del Sol, el planeta semblava haver transcorregut per tota la seva irregularitat i haver retornat en tots els aspectes a la relació primera amb la Terra. Així, per mitjà del temps intervingut computaren el nombre de revolucions uniformes íntegres, i través seu els moviments detallats del planeta» (V,1).

Faci's els càlculs per a Saturn. Copèrnic prefereix mesurar els anys pels estels fixos⁷: no pels equinoccis i solsticis com Hiparc (els anys solars no serien totalment iguals, defensa al llibre III), i llavors les dades són les següents⁸:

⁷ És a dir, anys siderals de $365;15,24,10^d$ (d'acord amb un compte sexagesimal), de moviment mitjà sideral de $359;44,49,7,4^\circ$, amb longituds des de γ d'Àries (Mesarthim), i no anys tròpics amb longituds des del punt Vernal Υ .

8



Saturn no pot seguir una simple corba circular; hi ha irregularitats o anomalies en la seva òrbita. Per a aquella que Kepler explicarà per l'el·lipse, aquí s'introdueix l'excentricitat i l'epicicle, i s'anomena la primera anomalia. La segona anomalia (de Saturn) deriva del moviment mateix de la Terra.

- La Terra retorna a Saturn 57 vegades en 59 dels nostres anys solars més $1;6,48^d$.⁹
- En aquest temps el planeta completa 2 revolucions més $1;6,6^\circ$.

I llavors es poden extreure una sèrie de dades¹⁰.

a) Quin és el temps necessari de la Terra per a aconseguir retornar de bell nou a Saturn? (És el circuit de commutació, traduït també com a revolució paral·làctica – i és el període d'anomalia).

Cal dividir els anys totals que hi inverteix la Terra entre les vegades que retorna a Saturn, que serà la part de l'any o anys que triga la Terra a retornar-hi. Llavors es pot passar a dies. Per tant:

$$\frac{59 \text{ anys } 1; 6, 48^d}{57} \times \text{dies que té l'any sideral} = 378; 5, 32, 11^d.$$

Llavors quan es comença l'estudi del moviment d'un planeta no s'atén particularment a la primera anomalia (per a la qual s'introdueix l'excentricitat i l'epicicle), i es concentra l'atenció en la segona anomalia (la derivada del moviment de la Terra).

Representi's la longitud astronòmica per λ , i sigui λ_0 el punt zero de referència: llavors el gràfic representa $\bar{\lambda}$ com el moviment mitjà en longitud del planeta col·locat a P; $\bar{\alpha}$ com l'anomalia mitjana (l'angle que distorsiona una perspectiva alineada $P\bar{S}$ del planeta degut al moviment de la Terra); i $\bar{\lambda}_\odot$ el moviment mitjà en longitud del Sol (correspondria a la part del cercle anual recorregut per la Terra). Naturalment $\bar{\lambda} + \bar{\alpha} = \bar{\lambda}_\odot$ perquè preciament $\bar{\alpha}$ és el que no permet $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_\odot$, és a dir, la perspectiva alineada de la longitud.

D'altra banda això és acumulatiu: $\bar{\lambda} + \bar{\alpha} = \bar{\lambda}_\odot$ val per als anys (i translacions) que siguin. El text de Copèrnic ofereix dades lliurades (i corregides) sideralment, que deuen remuntar a fonts babilòniques, i donades a l'*Almagest* IX,3 amb noves correccions, etc. En el *De revolutionibus* el valor de $\bar{\alpha}$ acumula 57 retorns, $\bar{\lambda}$ 2 revolucions i escaig, $\bar{\lambda}_\odot$ 59 anys i escaigs.

⁹ Això és, $1 + \frac{6}{60} + \frac{48}{3600}$ dies, és a dir, les parts dels dies segueixen el sistema sexagesimal.

¹⁰ Per a una discussió de les resultants dels càlculs, cf. ídem, I pàgs.301-307.

b) Amb aquest temps la Terra retorna una vegada a Saturn. Copèrnic fa valer ara la següent computació, que considera que un retorn fa 360° i troba els graus recorreguts en un any resolent una regla de tres:

$$\frac{360^\circ \times 365 \text{ dies}}{378; 5, 32, 11^d} = \\ = 347; 32, 2, 54, 12^\circ.$$

Es tracta de l' anomalia mitjana ($\bar{\alpha}$) que hi ha en un any terrestre.

c) Calcula el moviment d'anomalia per a un dia de la següent manera¹¹:

$$\frac{347; 32, 2, 54, 12^\circ}{365} = 0; 57, 7, 44, 0^\circ.$$

Després unes taules lliuren el moviment paral·làctic de Saturn per dies i anys.

d) El moviment propi de Saturn durant un any terrestre – i el que lliuraria el moviment mitjà de Saturn ($\bar{\lambda}$ en el gràfic) – es fa tenint en compte que s'obté sotraient l'anomalia mitjana anual del moviment mitjà anual del Sol (l'any terrestre)¹². En els càlculs de Copèrnic:

$$359; 44, 49, 7, 4^\circ - 347; 32, 2, 54, 12^\circ = 12; 12, 46, 12, 52^\circ.$$

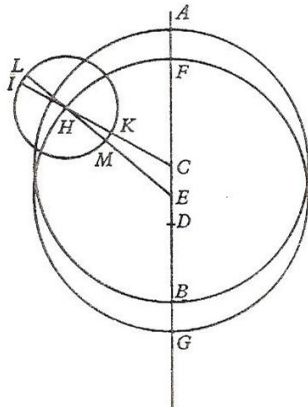
Es lliura per tant l'aproximació al moviment propi sideral en longitud del planeta per any terrestre.

¹¹ Aquí divideix pels dies de l'any egipci, versemblantment menyspreant-t'hi l'error possible.

¹² De fet no és exactament el moviment mitjà propi de Saturn (després se'l calcularà) perquè si es medita bé el punt [b] el lector s'adona que en aquests graus de moviment propi ja està comptada l'anomalia, per tant caldrà circumscriure ben bé el moviment de Saturn. Per exemple, passar $12; 12, 46, 12, 52^\circ$ a dies, i llavors fer una resta dels graus de moviment solar i dels graus d'anomalia mitjana, d'aquestes dies, i sumar la resultant a $12; 12, 46, 12, 52^\circ$ – o cercar algun altre mètode alternatiu.

2. Com el moviment propi dels planetes apareix no uniforme.

Tanmateix Saturn ofereix irregularitats aparents. Copèrnic lliura un esbós del model que proposaren els antics (V,2) [seria més o menys el model ptolemaic per a l'anomalia primera o zodiacal].



AB (primer cercle excèntric amb centre en *C*), *D* (Terra), *E* (punt mitjà entre *C* i *D*), *FG* (segon cercle excèntric amb centre en *E*), *IK* (epicle amb centre en *H*, del cercle *FG*).

Tot giraria al voltant del punt *D* d'acord amb el moviment diari de l'esfera dels estels fixos; la hipòtesi afegiria que els punts *C* i *E* s'hi trobarien inalterables, respecte d'aquella esfera, mentre l'epicle es mouria cap a l'est sobre el segon cercle excèntric *FHG*, però regulat per la línia *IHC* (*C* és el centre del primer excèntric), amb referència a la qual el planeta gira uniformement per l'epicle¹³.

Ara bé, afegeix Copèrnic, el moviment de l'epicle hauria de ser uniforme respecte el punt *E*, centre del seu deferent, i la revolució del planeta hauria de ser uniforme respecte de la línia *LME*¹⁴.

¹³ És a dir, la velocitat angular que segueix la línia *IHC* és uniforme.

¹⁴ La velocitat angular que seguiria la línia *LME* seria uniforme.

Per tant el moviment circular té un moviment uniforme respecte d'un centre que no és el propi, cosa que creu que no hauria de ser.

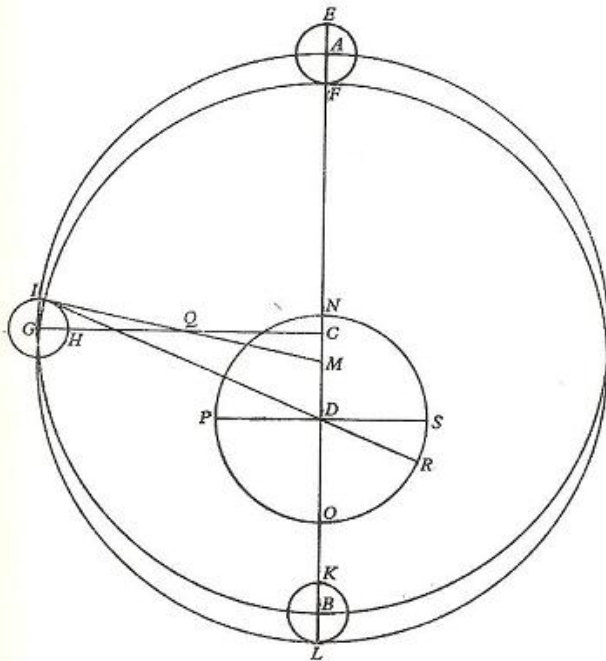
Copèrnic esmenta que tot això l'inclinà a considerar el moviment de la Terra, i d'altres mitjans, per a preservar el moviment uniforme i els principis de la ciència¹⁵.

De primer (V,3) ofereix l'explicació general de la no uniformitat aparent per causa del moviment de la Terra [seria el model per a la anomalia segona o solar dels planetes], i per la qual – és prou sabut – fa entendre les seves estacions i retrogressions. Aquests fenòmens, comenta, feren que els antics afegissin un epicicle per a cada planeta a fi d'explicar-los, quan tots succeeixen per causa del moviment de la Terra.

Passa doncs (V,4) a lliurar el model seu [per a l'anomalia primera] dels quatre planetes deixant Mercuri (el moviment en longitud del qual s'ha d'estudiar a part) pel fet que cal comprendre que la seva no uniformitat pot resoldre's a partir de moviments uniformes de dos excèntrics, o d'un epicicle i d'un excèntric, o de dos epicicles.

¹⁵ En efecte Copèrnic voldrà que l'epicicle giri uniformement i alhora el seu centre giri també uniformement al voltant del *centre* del deferent, i no uniformement respecte del que els medievals anomenaren equant (*punctum aequans*). Val la pena d'esmentar que N.M.Swerdlow i O.Neugebauer precisen que «*considerat històricament les seves observacions són d'un interès considerable perquè eren també la motivació de les innovacions principals en la teoria planetària tardomedieval. Les objeccions poden resumir-se en el principi que, en la mesura que es creu que els moviments dels cossos celestes són controlats per la rotació d'esferes materials, només són físicament possibles rotacions uniformes sobre eixos diametral. Les objeccions tenen així una base més física o mecànica que merament filosòfica*» (ídem, I pàgs.293-294).

En especial porten a col·lació aquí al-Haytam, els astrònoms de l'observatori de Marāgha (Iran) dels segles XIII i XIV, i d'altres, com els autors els principis dels quals Copèrnic seguiria modificant-ne sols alguns paràmetres numèrics (cf. també dalt: *¿Es pot saber com i per què hi arribà?*).



AB (cercle excèntric amb centre *C*), *A* (àpside superior), *B* (àpside inferior), *NP* (cercle de l'òrbita de la Terra amb centre *D*), *EF* (epicicle de radi igual a $1/3 CD = CM$), *FL* (cercle excèntric amb centre *M*).

El planeta es troba a *F* i es mou (amb l'epicicle) cap a l'est al llarg del deferent *AB*, i l'epicicle gira sobre el seu centre el mateix arc que el seu centre recorre sobre el deferent.

Fent $CM = 1/3 CD$, i traçant *IM*, *GC* (suposat el planeta a *I*), és fàcil de demostrar que $IM > CG$. Però $FM = ML = AC = CG$, talment com si hi hagués un cercle *FL* igual al cercle *AB*, i que intersecarà la línia *IM*. Es pot anar resseguint el raonament per a les altres posicions: és fàcil de veure que, si més no en l'àpside superior del deferent, el planeta es troba a *F*, en l'inferior a *L*, etc.

Per tant el moviment uniforme de l'epicicle en l'excèntric, i el del planeta en l'epicicle, fan que el planeta no descrigui un cercle perfecte, però – com afegeix Copèrnic – gairebé ho és¹⁶.

Traçant ara IDR , i PDS paral·lela a CG , IDR serà la línia recta del moviment vertader (o aparent) del planeta, i la línia GC la del seu moviment uniforme mitjà: la Terra a R es trobarà a la distància més gran del planeta, a S a la distància mitjana més gran.

\widehat{RDS} o \widehat{IDP} serà la diferència entre els dos, el moviment uniforme i l' aparent, per tant també entre \widehat{ACG} i \widehat{CDI} .

Aquest model li basta per als fenòmens. El prefereix al d'un concèntric amb D com a centre, en el qual s'hi trobaria un epicicle amb radi CD , amb un nou epicicle on roda el planeta, perquè el punt D on es troba el Sol pateix algun canvi, com ho ha mostrat a III,20¹⁷.

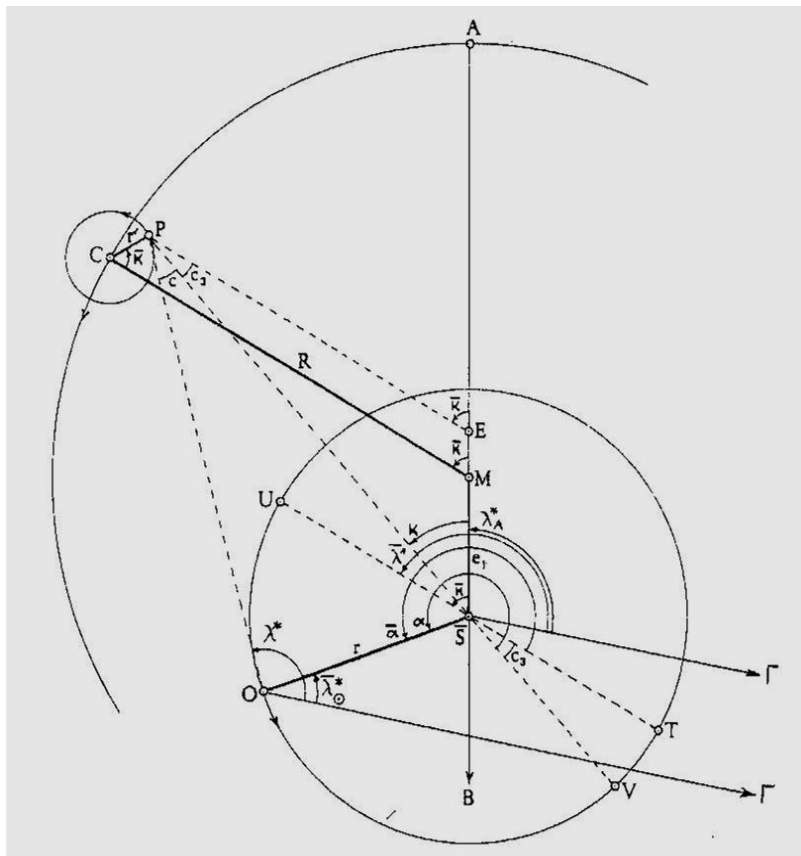
¹⁶ La intenció fóra llavors la següent: el deferent AB amb centre a C i l'epicicle basten per a obtenir una òrbita quasi circular, amb l'avantatge que el moviment angular del centre de l'epicicle és uniforme respecte del centre del deferent (l'angle ACG creix uniformement).

¹⁷ Val la pena en aquest punt de presentar succintament la terminologia de Copèrnic (que alhora és molt de l'època) a propòsit de les referències astronòmiques, i serà prou útil aquí agafar un del gràfics lliurats per N.M.Swerdlow i O.Neugebauer (cf. ídem, I pàgs.300-301; II pàg.622), on apareix la Terra a O com a punt d'observació (amb Γ 's assenyala γ d'Àries), el planeta es troba a P i té C com el centre del seu epicicle, i on es pot exemplificar la terminologia i per tant la de les quantitats que es troben en joc.

$\bar{\lambda}_{\odot}^*$ – *locus solis medius, medius motus solis*: posició mitjana o longitud mitjana del Sol, moviment mitjà del Sol, sempre entesos com a moviments o longituds siderals simples o mitjans; és a dir, on és el Sol respecte de la primera estrella d'Àries.

$\bar{\lambda}^*$ – *medius motus, motus proprius, locus medius, locus aequalis*: moviment o longitud mitjans siderals del planeta; és a dir, on seria el planeta – si sols es considerés el seu moviment o posició mitjans – respecte de γ d'Àries.

\bar{S} – *centrum orbis terrae annui*: centre de l'esfera anual de la Terra (el que s'acostuma a anomenar «Sol mitjà»).



A – *summa apsis, apogaeus eccentrici, apogaeus*: l'apogeu de l'excèntric, el punt més allunyat de \bar{S} .

B – *infima apsis, perigaeus*: el perigeu de l'excèntric, el punt més proper a \bar{S} .

λ_A^* – *locus summae apsidis*: la longitud sideral de l'apogeu.

\bar{k} – *anomalía eccentrici*: anomalía excèntrica mitjana $\bar{k} = \bar{\lambda}^* - \lambda_A^*$; és a dir, la longitud mitjana del planeta menys la longitud de l'apogeu, per tant és una

altra manera de mesurar la longitud mitjana del planeta: la posició mitjana o el moviment mitjà del planeta des de l'apogeu; tant $\bar{\lambda}^*$ com \bar{k} suposen el rerafons de l'anomalia primera mitjana (la que es deu al deferent – l'excèntric – i a l'epicicle) perquè caldrà corregir-les.

c_3 – *prosthaphaeresis eccentrici, aequatio eccentrici*: equació de centre; el planeta no es troba en la direcció de $U\bar{S}$, sinó de $P\bar{S}$, per tant cal sumar (o aquí restar) un angle a l'anomalia mitjana \bar{k} per tal de trobar l'anomalia excèntrica corregida k . La correcció s'anomena «equació de centre», pel terme medieval «centre» aplicat a l'anomalia excèntrica.

k – *anomalia eccentrici aequata*: anomalia excèntrica corregida $k = \bar{k} + c_3$ [$k - \bar{k} = c_3$ és negativa per a $\bar{k} \leq 180^\circ$ i positiva per a $\bar{k} \geq 180^\circ$].

M – *centrum circuli eccentrici, centrum eccentrici*: centre de l'excèntric.

E – Copèrnic no té cap nom per a l'equant, però es refereix al cercle de radi R descrit al voltant E com el “cercle excèntric on es considera que el planeta es mou simplement i uniformement”: en el gràfic de Copèrnic no hi apareix perquè precisament retreu aquest fet als antics, i seria el punt C centre del cercle AB del gràfic lliurat dalt a pàg. 26.

T – *apogaeus commutationis, apogaeus orbis*: el punt de l'òrbita de la Terra que es troba en la línia que passa per \bar{S} paral·lela a EP i MC , que correspon a l'apogeu mitjà de l'epicicle en el model de Ptolemeu; en el model de Copèrnic, si es considera que l'anomalia excèntrica mitjana faria que el planeta es trobés en la direcció $U\bar{S}$, llavors T representa el punt de l'òrbita de la Terra més llunyà.

U – *perigaeus orbis*: el punt de l'òrbita de la Terra corresponent al perigeu mitjà de l'epicicle en el model de Ptolemeu; és a dir, etc.

V – *verus apogaeus orbis*: el punt de l'òrbita de la Terra que es troba en la direcció de $P\bar{S}$ allargada per a trobar l'òrbita, que correspon a l'apogeu vertader de l'epicicle en el model de Ptolemeu; en el model de Copèrnic el punt més allunyat vertaderament de l'òrbita de la Terra respecte d'una posició del planeta.

$\bar{\alpha}$ – *anomalía commutationis, motus commutationis*: anomalia o moviment de commutació, un terme que Copèrnic usa com a equivalent del grec $\pi\alpha\rho\acute{\alpha}\lambda\lambda\alpha\xi\iota\varsigma$; aquí és l’anomalia mitjana $\bar{\alpha} = \bar{\lambda}_{\odot}^* - \bar{\lambda}^*$ o arc TO . Per tant és la segona anomalia, la que es deu al moviment de la Terra comptada des de γ d’Àries. Per a entendre-ho tot cal fer les següents consideracions: en el cas d’un moviment mitjà de Saturn el planeta seria en la direcció de la línia $U\bar{S}$. Llavors si l’observador fos a T (i fent veure que no hi és el Sol) podria establir la longitud mitjana de Júpiter; què fa que la seva observació sigui anòmala? Doncs que no és a T, sinó a O i l’arc $TO (= \bar{\alpha})$ distorsiona l’observació de la longitud mitjana. Quant val $\bar{\alpha}$? Doncs òbviament si se suma la longitud mitjana ($\bar{\lambda}^*$) i el que ha fet la Terra ($\bar{\alpha}$) lliuraran tot l’angle (longitud mitjana + distorsió), que certament és igual aquí a $\bar{\lambda}_{\odot}^* + 2\pi$ (comprovi’s que és així), és a dir, que tenint $\bar{\lambda}_{\odot}^*$ i $\bar{\lambda}^*$ es pot saber $\bar{\alpha}$, com s’ha dit dalt.

α – *anomalía commutationis aequata or coaequata*: anomalia corregida $\alpha = \bar{\alpha} + c_3$ o arc VO . En efecte el planeta no es troba en la línia $U\bar{S}T$, sinó en la línia PSV . Per tant la suma de la nova longitud (calculada des de la longitud mitjana $\bar{\lambda}^*$) i de la nova anomalia és (aquí) una altra vegada $\bar{\lambda}_{\odot}^* + 2\pi$: la longitud mitjana $\bar{\lambda}^*$ guanya c_3 [aquí negativa], i l’anomalia corregida α afegeix c_3 .

c – *prosthaphaeresis commutationis, commutatio, parallaxis orbis*: l’equació de l’anomalia, es a dir, l’angle en el punt del planeta subtendit pel radi de l’òrbita anual de la Terra, d’aquí el terme *parallaxis orbis*. Es tracta que l’observador tampoc no és a \bar{S} , sinó a O, per tant de la distorsió que fa l’amplada de l’òrbita de la Terra respecta d’una longitud centrada en el Sol. Certament sols es pot deduir a partir de l’observació de la longitud vertadera (λ^*) i de calcular l’angle que fa $P\bar{S}$ respecte de l’origen de longituds (γ d’Àries), és a dir $\bar{\lambda}^*$ corregida per c_3 . Per tant $c = \lambda^* - (\bar{\lambda}^* + c_3)$ [c_3 en la posició del gràfic és negativa]. En efecte basta de traçar la paral·lela a PO per \bar{S} per a comprovar-ho. Si ara s’anomena longitud heliocèntrica $\lambda^{*’}$ de Saturn, per exemple, l’angle que fa PS amb l’origen de les coordenades, llavors $c = \lambda^* - \lambda^{*’}$. I és fàcil de veure que $\lambda^{*’} = \bar{\lambda}^* + c_3 = \lambda_A^* + k$.

V

DERIVACIONS I CORRECCIONS A PARTIR D'OBSERVAR TRES POSICIONS ACRÒNIQUES DE SATURN

No sembla difícil de ponderar que les divergències d'aquest treball extraordinari palesen versemblantment que es fan a partir dels supòsits del seu temps, en l'accepció que responen a les tècniques d'observació dels seus contemporanis i als mitjans interpretatius que ensenyaren.

El primer dels planetes estudiats en el *De revolutionibus* és Saturn, i ho fa, és clar, tenint en compte l'explicació general de la no uniformitat del planeta causada pel moviment de la Terra, i també d'acord amb la modelització d'un excèntric amb un epicicle.

Emprèn doncs la tasca de provar el seu model per al planeta, i ho fa prenent tres observacions acròniques de Saturn (l'astre surt quan el Sol es pon o es pon quan el sol surt: llavors no hi ha paral·laxi). De quina manera pot el model ajudar a fer entendre les observacions fetes amb l'armil·lar i, si cal, rectificar algun dels seus supòsits?

Copèrnic ho estudia per a dues tandes de tres observacions: tres oposicions observades per Ptolemeu (*Almagest* XI,5), i tres més fetes per ell mateix. Primerament assaja d'assumir els valors deduïts per Ptolemeu i de fer-los entendre a partir del model que ha proposat (V,5). Tanmateix abandonà aquests càlculs dels moviments de l'astre perquè diferien molt dels del seu temps, i no era fàcil de saber on es trobava l'error. Per això ofereix tres noves observacions, d'on dedueix valors del moviment del planeta, i que permeten ajustar el model.

1. Observacions copernicanes de Saturn.

Hi ha doncs un paral·lelisme entre el treball de l'*Almagest* XI,5-8 i el tractament copernicà en el nombre d'observacions, en la cerca del valor de l'excentricitat, de l'estudi dels àpsides de l'òrbita, etc.,

λ^* - *locus verus*, *locus apparens*: longitud vertadera o aparent sideral del planeta. En l'exemple de Saturn Copèrnic l'estableix per observació, i seria la longitud geocèntrica (de Saturn).

mentre s'assumeix la revolució de la Terra al voltant del Sol amb la corresponent paral·laxi. Vegi's, tanmateix, les tres posicions acròniques de Saturn observades per l'autor en el meridià de Cracòvia (*De revolutionibus* V,6):

<i>Hora</i>	<i>dia</i>	<i>any</i>	<i>aparició Saturn</i> [λ^*]
22;48 ^h	5 de maig	1514	205;24°
12 ^h	13 de juliol	1520	273;25°
6;24 ^h	10 d'octubre	1527	0;7°

<i>Dies entre les dues primeres oposicions</i>	<i>Moviment aparent de Saturn</i>
6 anys egipcis i 70;33 dies ¹⁸	68;1° [= 273;25° - 205;24°] [= δ_1]
<i>Dies entre les dues últimes oposicions</i>	<i>Moviment aparent de Saturn</i>
7 anys egipcis i 89;46 dies ¹⁹	86;42° [= 360;7° - 273;25°] [= δ_2]

Moviment mitjà en longitud de Saturn en el primer interval

Per al moviment propi ja es digué que Copèrnic no trobà necessari d'oferir unes taules (cf. dalt a propòsit de V,1), i lliurà 12;12,46° per any. Per tant en sis anys i escaig fa 73;16,36°.

Però, com també s'ha esmentat, i circumscrit a un any, aquests 12;12,46° són la resta d'un any terrestre i de l'anomalia mitjana que hi ha en un any; se suposa que són graus propis del moviment de Saturn. Ocorre que estan comptats en un circuit d'anomalia. Això vol dir que s'ha de cercar un moviment mitjà més escaient: els 12;12,46° no

¹⁸ El decimal de dia, com dalt, representa minuts de dia $[70 + \frac{33}{60}]$.

¹⁹ $[89 + \frac{46}{60}]$.

haurien de rebre el correctiu pel fet de comptar-los en un circuit d'anomalia (que els empetiteix)²⁰.

Fet i fet Copèrnic calcula com a moviment mitjà $75;39^\circ [= \overline{\delta}_1]$.

Moviment mitjà en longitud de Saturn en el segon interval.

Copèrnic conclou que és $88;29^\circ [= \overline{\delta}_2]$.

²⁰ El camí seguit per Edward Rosen [*Nicholas Copernicus. On the revolutions*; Johns Hopkins University Press, Baltimore and Londres, 1992, pàg.420] per a explicar la nova mesura fa: se sap que $\bar{\lambda}^* = \bar{\lambda}_{\odot}^* - \bar{\alpha}$; caldrà passar els $12;12,46^\circ$ en dies, i veure la variació de la longitud solar en aquests dies i la variació de l'anomalia en aquests mateixos dies.

Tot això s'hauria de fer per als $73;16,36^\circ$ (que corresponen a $70;33^d$). Per tant, per a $70;33^d$, un hom va a les taules lliurades per Copèrnic del moviment paral·làctic de Saturn en anys i dies (V,1), i a les taules del moviment uniforme simple del Sol en anys i dies (III,14), i sostreu la primera (el desplaçament de longitud de Saturn lliura un arc de $66;38^\circ$) de la segona (el desplaçament de longitud del Sol lliura un arc de $68;59^\circ$), fent una resultant de $2;21^\circ$ (a afegir-hi un minut pels minuts del dia: total $2;22^\circ$). I sumant

$$73;16,36 + 2;22 = 75;38,36^\circ [= \overline{\delta}_1].$$

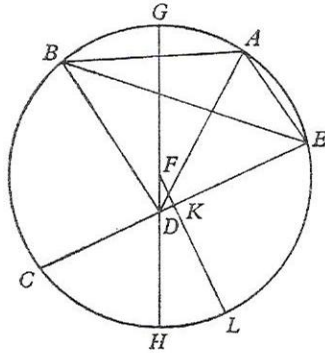
Un mètode més eficaç per a entendre la nova mirada de Copèrnic fóra el suggerit per N.M.Swerdlow i O.Neugebauer (I pàgs.312 i 327-328). En efecte hi ha 6 anys i $70;33$ dies entre les dues primeres observacions: basta llavors calcular el recorregut solar en aquest període (les taules lliurades a III,14) i li resta l'anomalia mitjana ($\Delta\bar{\alpha}$) d'aquest mateix període, gràcies a les taules (de l'*Almagest* o de les *Taules Alfonsines*), perquè l'anomalia és la mateixa tant si $\Delta\bar{\lambda}$ és tropical o si és sideral. Per tant $\bar{\delta} = \Delta\bar{\lambda}^* = \Delta\bar{\lambda}_{\odot}^* - \Delta\bar{\alpha}$, que lliura per al primer interval $\bar{\delta} = 75;38^\circ$.

La rectificació s'hauria d'aplicar també en el segon interval, que correpon als 7 anys i $89;46^d$, etc.

2. La troballa de l'excentricitat del Sol mitjà i la de les anomalies excèntriques mitjanes.

Cal treballar a la manera de Ptolemeu (*Almagest* X,7) si se cerca l'àpside més alt i l'excentricitat, és a dir, com si el planeta es mogués en un excèntric simple.

En efecte es tracta de dibuixar un cercle i col·locar-hi les tres observacions fetes; A , B i C , tot pensant que Saturn s'hi mou uniformement, essent D el centre del cercle de la Terra, F el centre de l'excèntric, allargant *ad libitum* una de les línies que els uneixen a D (per exemple, CDE), traçant la línia $GFDH$ pels àpsides, FL perpendicular a CE , i completant com convé el gràfic.



Per al triangle DBE .

$\widehat{BDC} = 86;42^{\circ 21}$ \rightarrow se sap \widehat{BDE} (suplementari) \rightarrow se sap \widehat{BED} (perquè se sap l' arc BC) \rightarrow se sap l' angle que queda \widehat{DBE} \rightarrow se sap les

²¹ Noti's que es pressuposa que \widehat{BDC} ($= \delta_2$) lliura l'arc BC , quan no és el cas. Certament Copèrnic (cf. més avall) ho corregeix, calcula les equacions de centre i les anomalies excèntriques corregides ($k = \bar{k} + c_3$) per a cada oposició, la qual cosa permet extreure els angles del moviment δ_1 i δ_2 . «Si per atzar aquests [angles] estan d' acord amb els valors observats de δ_1 i de δ_2 , llavors els valors derivats de $2e$ [l'excentricitat] i \bar{k} són correctes, i la

cordes BE i DE (on el diàmetre del cercle que circumscriu el triangle DBE val 20.000^p).

Per al triangle ADE.

$\widehat{ADC} = 154;43^\circ [= 68;1^\circ + 86;42] \rightarrow$ se sap \widehat{ADE} (suplementari).

$\widehat{AED} = \widehat{BED}$ [trobat abans] + \widehat{AEB} [a través del moviment mitjà de Saturn en el primer interval, i.e. 75;39°] \rightarrow se sap l'angle que queda $\widehat{DAE} \rightarrow$ se sap les cordes DE i AE (on el diàmetre del cercle que circumscriu el triangle ADE és de 20.000^p).

Per al triangle AEB.

Passa les cordes EB i AE a unitats de la corda DE del triangle DBE (per mitjà de DE en el triangle ADE). Se sap doncs BE i EA i $\widehat{AEB} \rightarrow$ se sap la corda AB (on el diàmetre del cercle que circumscriu el triangle AEB és de les parts del del cercle del triangle DBE).

Llavors el següent:

La mateixa corda AB – se sap l'arc AB – es pot mesurar tenint en compte tot l'excèntric amb un diàmetre de 20.000^p \rightarrow les cordes EB i DE es mesuren d'acord amb el nou càlcul de la corda AB.

La corda BE lliura l'arc BAE (= 103;7°).

Tot EABC = 191;36° [= 103;7° + 88;29°, moviment mitjà de Saturn entre B i C].

derivació s'ha acabat. Tanmateix, des del moment que la demostració prèvia depèn de l'assumpció incorrecta que δ s'aplica al moviment de la projecció del planeta P en el cercle al voltant de l'equant, és poc probable que el resultat s'acordi a l'observació quan el planeta es troba de fet en la seva pròpia òrbita [en l'epicicle] a P» (ídem, I pàg.315).

Sobre la discussió d'una aproximació reiterada de correcció de resultats a favor que s'arribi als resultats observats de \widehat{BDC} (= δ_2) i \widehat{ADB} (= δ_1), cf. ídem, I pàgs.315-319, 341ss, 366ss. Tot això s' explicarà més avall amb una mica d' extensió.

La resta del cercle = 168;24° → la corda $CDE = 19.898^p (< 20.000^p)$.

Per tant:

L'arc $EABC > \text{arc } CE$, cosa que vol dir que el centre de l'excèntric cau dins de la part del cercle del primer. Per exemple a F , i traci's $GFDH$ i FKL perpendicular a CDE .

Llavors:

$$CD \times DE = GD \times DH^{22}$$

$$GD \times DH + FD^2 = [1/2 GDH]^2^{23}$$

$$[1/2 GDH]^2 - GD \times DH \text{ [o } CD \times DE] = FD^2.$$

Com ja se sap el minuend i el subtrahend, llavors $FD = 1200^p$ (d'un radi $GF = 10.000^p$), un resultat un pèl diferent del lliurat per Ptolemeu [*Almagest* XI,6]²⁴.

Continuï's:

Es coneix FD i DK [$CDK - CD$, CDK la meitat de CDE], i DK és la meitat d'una corda d'un arc doble de DFK , per tant es troba l'angle \widehat{DFK} , igual a l'arc HL .

Però el tot $CHL = 1/2 CLE [168;24^\circ] \approx 84;13^\circ$.

Per tant $CH = CHL - HL = 51;28^\circ$,

graus que van des de la tercera posició al perigeu. I $CBG = 128;32^\circ$ des de la tercera posició a l'apogeu o àpside més alt.

També:

$BG = CBG - BC [128;32^\circ - 88;29^\circ$ (moviment mitjà en el segon interval) $= 40;3^\circ]$

$AG = BA - BG [75;39^\circ$ (moviment mitjà en el primer interval) $- 40;3^\circ = 35;36^\circ]$.

Amb tot plegat se sap on col·locar el centre de l'excèntric i els àpsides del planeta²⁵.

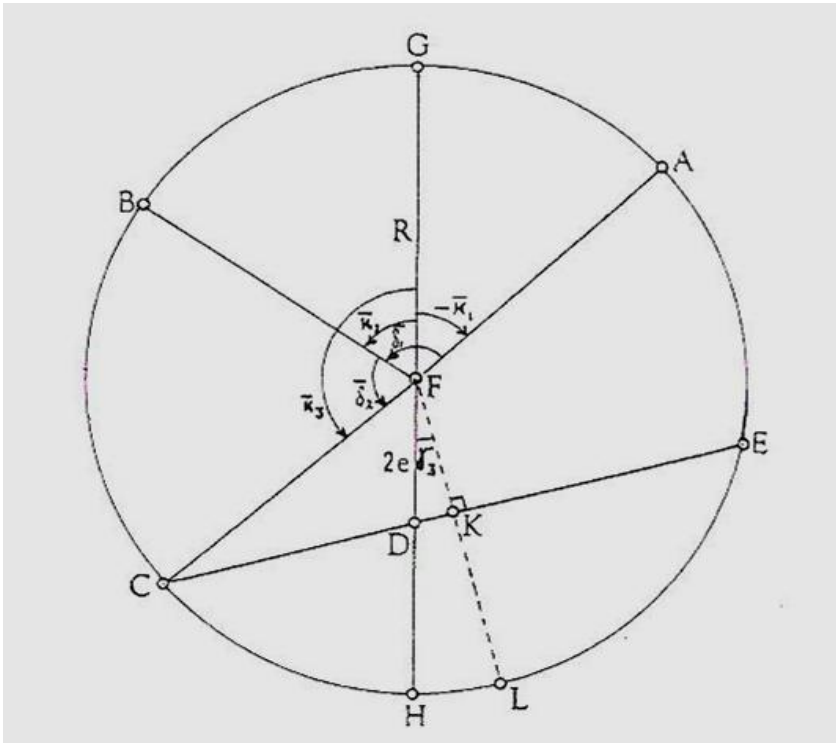
²² Els triangles GED i CDH són semblants.

²³ Basta descabdellar:

$$(GF + FD) \times (GF - FD) + FD^2.$$

²⁴ FD és el que s'anomena l'excèntricitat.

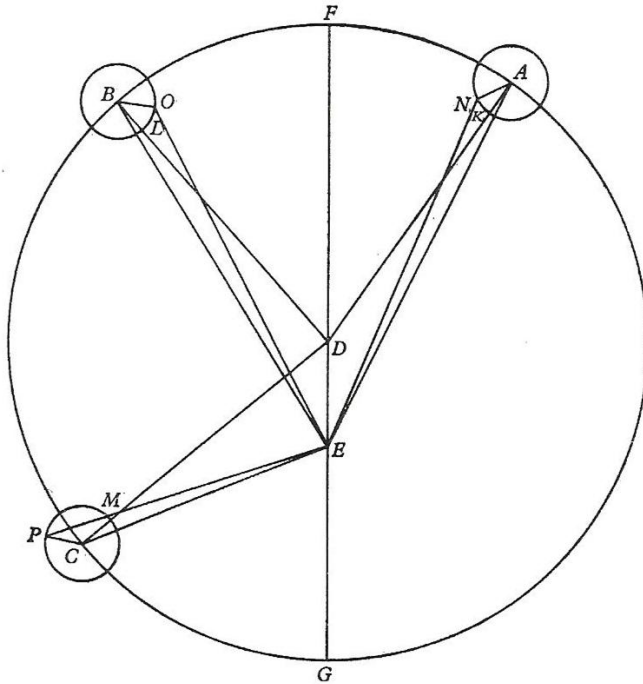
²⁵ I també els arcs CG , BG i AG , calculats com si Saturn recorregués l'òrbita uniformement pel cercle. D'aquí que es digui que CG , BG i AG ($\overline{k_3}$, $\overline{k_2}$ i $-\overline{k_1}$ en la figura) representen l'anomalia excèntrica (aquella que té el referent que el Sol no és el centre i per més uniforme que se suposi ara: caldrà corregir-la) mitjana (calculada uniforme des del centre del cercle) de cada oposició.



Noti's que $\overline{\delta_1}$ i $\overline{\delta_2}$ representen el moviment mitjà de Saturn (trobat dalt en el primer punt: $75;39^\circ$ i $88;29^\circ$, respectivament) – considerat des del centre de l'excèntric (F) – que cal diferenciar de δ_1 i δ_2 , que serien els valors angulars observats.

3. Examen per a comprovar les resultants a partir de derivar-ne els valors observats.

Dibuixi's tot això de bell nou, ara ja representant l'epicicle – i el planeta col·locat a O , P i N , girant com es digué al seu lloc –, però modificant una mica la distància entre D i E [F i D en el gràfic anterior de Copèrnic]: s'agafa $\frac{3}{4}$ del trobat [900^p] i $\frac{1}{4}$ restant [300^p] s'usa de mida per al radi de l'epicicle²⁶.



Tanmateix si es vol mantenir-ho tot cal ajustar el que s'ha trobat.

Perquè si es continués el que s'ha fet simulant que Saturn es mou uniformement en un excèntric, hi hauria unes resultants que difereixen una mica de les observacions [δ_1 i δ_2]; no volent avorrir el lector amb

²⁶ Es tracta d'una aplicació de les resultants del càlcul al model que ell proposà (cf. dalt, pàg.28). O millor: a una aproximació d'aquell model, que de seguida tornarà a retocar.

tots els detalls lliura merament les quantitats que els valors observats haurien de ser segons els càlculs a partir de l'excentricitat i de les anomalies excèntriques mitjanes trobades dalt:

$$\overline{NEO} = 67;35^\circ \quad [\text{quan són segons l' observació } 68;1^\circ = \delta_1]$$

$$\overline{OEM} = 87;12^\circ \quad [\text{quan són segons l'observació } 86;42 = \delta_2].$$

La cosa rutllarà si es fa avançar l'apogeu una mica [3;14°] i fent $AF = 38;50$ [en lloc de 35;36°] i l'arc $FB = 36;49$ [40;3° - 3;14] .

$$\text{Arc } FBC = 125;18^\circ [128;32^\circ - 3;14^\circ]^{27}.$$

²⁷ Els arcs AF , FB i FBC representen, s'ha dit, les anomalies excèntriques mitjanes ($-\overline{k}_1$, \overline{k}_2 i \overline{k}_3). Com aconseguix Copèrnic aquests nous resultats?

Primer deuria calcular (després es veurà com ho fa Copèrnic) l'equació de centre (c_3) de les respectives oposicions amb els valors trobats d'anomalia mitjana (35;36° $-\overline{k}_1$, 40;3° \overline{k}_2 i 128;32° \overline{k}_3) per tal d'extreure de les anomalies excèntriques corregides ($-k_1 = -\overline{k}_1 + c_{3a}$, $k_2 = \overline{k}_2 + c_{3b}$, $k_3 = -\overline{k}_3 + c_{3c}$), i així trobar els valors teòrics de $\delta_1[k_2 - k_1]$ i $\delta_2[k_3 - k_2] \rightarrow [\delta_1 = 67;35^\circ, \delta_2 = 87;12^\circ]$, que diferien dels observats.

Això implicava que els valors de l'excentricitat i de \overline{k} derivats no eren bons del tot, i per tant calia la cerca d'unes nous valors.

Un esquema de correcció faria: cal trobar una nova aproximació de l'equació del centre (c'_3) a través d'una modificació de l'excentricitat i de les anomalies excèntriques mitjanes, i que permeti una nova quantificació de l'anomalia excèntrica corregida ($k' = \overline{k}' + c'_3$) per a cada oposició, i finalment trobar $\delta'_1 = k'_2 - k'_1$ i $\delta'_2 = k'_3 - k'_2$.

Insisteixi's que c_3 i c'_3 depenen dels valors de l'excentricitat i de les anomalies excèntriques mitjanes, i després es pot lliurar una aproximació a δ com és δ' .

D'aquí que, si no n'hi hagués prou, un hom podria cercar una nova aproximació a l'equació del centre i trobar nous valors δ'' per a δ , procurant convergir cap a les quantitats observades.

Hi ha doncs un camí reiteratiu. El mètode – que aquí sols s'indica – ofereix variants, i remet al cap i a la fi al mateix Ptolemeu.

Fet i fet és possible que Copèrnic fes si més no tres iteracions que aconseguixen les resultants que ara proposa (avançar l'apogeu 3;14° [amb la qual cosa modifica les anomalies mitjanes], modificar l'excentricitat i fer-ho també per al radi de l'epicicle), altrament no s'explicaria potser la convergència dels càlculs amb la proposta de Copèrnic (difícil de concebre si hagués seguit un mètode d'assaig i error). Se'n pot trobar una discussió amb

A més a més es fa DE, la distància entre els centres, de 854^P [en tenia 900^P], i el radi de l'epicicle 285^P [en tenia 300^P]. Tot això s'apropa al que digué Ptolemeu [*Almagest* V,5].

A partir d'aquí es veu clarament la consistència d'aquestes quantitats amb les aparences.

Perquè en el triangle ADE:

$$DE = 854^P \quad (AD = 10.000^P)$$

$$\widehat{ADE} = 141;10^\circ \quad [180^\circ - \widehat{ADF}, 38;50^\circ],$$

Per tant es coneix dos costats i un angle, i d'aquí s'extreu el tercer costat AE i els altres angles \widehat{DAE} [2;52°] i \widehat{DEA} [35;58°].

Semblantment en el triangle AEN:

$$\widehat{KAN} = \widehat{ADF}, \text{ per construcció } [\widehat{ADF} = 38;50^\circ]$$

$$\text{Tot } \widehat{EAN} = 41;42^\circ \quad [\widehat{DAE} + \widehat{KAN} = 2;52^\circ + 38;50^\circ]$$

$$AN = 285^P \text{ (per hipòtesi), i AE se sap del triangle ADE.}$$

Es coneix dos costat i un angle, i d'aquí s'extreu:

$$\widehat{AEN} = 1;3^\circ.$$

$$\text{Però: } \widehat{DEA} = 35;58^\circ.$$

detall a ídem, I pàgs.330-332; 366-367 [Tot i això s'ha evitat presentar-ho com aquests autors pel fet de fer-ho tenint en compte l'equant, i d'interpretar el model de Copèrnic des del model de Ptolemeu i d'autors àrabs medievals, amb unes explicacions que poden semblar allunyades del que es llegeix del nostre astrònom. Sigui com sigui val la pena deixar una discussió detallada de tot plegat als especialistes sense que calgui aquí pronunciar-se del seu encert o desencert].

Segons aquest supòsit Copèrnic lliura la solució sense oferir els càlculs per a no avorrir l'estudiós (per tant no hi apareix l'equació de centre explícitament), malgrat que després aplica els nous valors de l'anomalia mitjana i de l'excentricitat (trobat en principi després de tres iteracions) per a trobar l'anomalia corregida ($k = \bar{k} + c_3$) a través – prenent nosaltres com a exemple la primera oposició – dels angles \widehat{AEN} i \widehat{DAE} , la suma dels quals lliura l'equació de centre [observi's que $38;50^\circ - (2;52^\circ + 1;3^\circ) = 34;55^\circ$, l'anomalia corregida última, cf. a continuació].

Llavors: $\widehat{DEN} = 34;55^\circ$ [$\widehat{DEA} - \widehat{AEN}$, $35;58^\circ - 1;3^\circ$]²⁸.

Fent els càlculs per a la segona i la tercera oposició hi ha les següents resultants:

$$\widehat{OED} = 33;5^\circ$$

$$\widehat{PED} = 119;47^\circ.$$

Llavors:

$$\widehat{DEN} + \widehat{OED} = 34;55^\circ + 33;5^\circ = 68^\circ \quad [l' \text{ observació} = 68;1^\circ]$$

$$\widehat{PED} - \widehat{OED} = 119;47^\circ - 33;5^\circ = 86;42^\circ \quad [l' \text{ observació} = 86;42^\circ].$$

Noti's que Saturn era en la tercera observació a $0;8^\circ$ est de γ d'Àries. Per tant es pot situar l'àpside inferior respecte de γ d'Àries [$180^\circ - 119;47^\circ + 0;8^\circ = 60\frac{1}{3}^\circ$], i també l'àpside superior [$240\frac{1}{3}^\circ$].

4. El moviment en paral·laxi en la tercera observació de Saturn.

Torni's a fer ara els càlculs per a la tercera posició perquè els necessitem tot seguit:

En el triangle CDE:

$$\widehat{CDE} = 54;42^\circ \quad [= 180^\circ - (\widehat{FDC} = 125;18^\circ)]$$

$$DE = 854^p \quad [CD = 10.000^p],$$

Per tant es coneix dos costats i un angle, i d'aquests s'extreu el tercer costat EC i els altres angles \widehat{DCE} [$4;13^\circ$] i \widehat{CED} [$121;5^\circ$].

En el triangle EPC:

$$\widehat{PCE} = 129;31^\circ \quad [\widehat{FDC} + \widehat{DCE}, 125;18^\circ + 4;13^\circ]$$

$$\widehat{FDC} = \widehat{PCD} \text{ per construcció}$$

$$PC = 285^p \quad [\text{per hipòtesi}]$$

$$EC \quad [\text{se sap pel triangle CDE}],$$

²⁸ Observi's de bell nou que Copèrnic ha efectuat en dues passes per a la primera posició de Saturn que $k = \bar{k} + c_3$ a través dels angles \widehat{AEN} i \widehat{DAE} [$38;50^\circ - (2;52^\circ + 1;3^\circ) = 34;55^\circ$], i obté l'anomalia corregida final en la primera oposició.

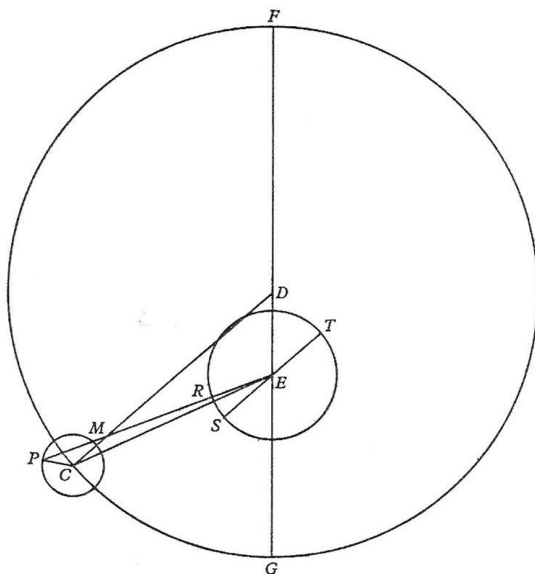
per tant es coneix dos costats i un angle, i d' aquests s' extreu l' angle \widehat{PEC} [1;18°].

Però:

$$\widehat{CED} = 121;5^\circ.$$

Llavors $\widehat{PED} = 119;47^\circ$ [$\widehat{CED} - \widehat{PEC}$, $121;15^\circ - 1;18^\circ$]²⁹,
la distància de l'àpside superior de l'excèntric al lloc del planeta en la tercera posició.

Dibuixi's ara el cercle RST de l'òrbita de la Terra, i faci's SET paral·lel a CD , que és la línia del moviment mitjà de Saturn.



Havent-se fet aquesta tercera observació quan Saturn i el Sol estan oposats, la Terra es trobarà a R .

Aquí se sap:

$$\widehat{CES} = \widehat{DCE} = 4;13^\circ$$

²⁹ Que és l'anomalia corregida (k) d'aquesta tercera oposició.

$$\widehat{PEC} = 1;18^\circ.$$

Per tant:

$$\widehat{PES} = \widehat{EMD} \text{ (o arc RS)} = 5;31^\circ$$

Que és la diferència entre el moviment uniforme de Saturn (\widehat{FDC}) i el moviment aparent (\widehat{DEP})³⁰.

Ara noti's:

- La línia *PRE* representa la línia recta de l'anomalia excèntrica corregida.
- Perllongant *PRE* es podria dibuixar un punt en el cercle anual de la Terra que representaria l'apogeu de l'òrbita de la Terra respecte de Saturn [*V* en el gràfic de la nota 17].
- La línia *CMD* representa la línia del moviment uniforme i mitjà (el de l'anomalia excèntrica mitjana).
- La línia *SET* és paral·lela a *CD*, la línia del moviment uniforme i mitjà (fet i fet les dues girarien sempre en paral·lel).
- *T* representa la distància més gran mitjana (és a dir, tenint en compte el moviment mitjà regular) de Saturn; per tant, l'apogeu mitjà de l'òrbita de la Terra respecte de Saturn.
- Restant l'arc *RS* de π es troba l'arc *RT* (= 174;29°), que és el moviment uniforme en paral·laxi des de punt *T* pres com a origen³¹, és

³⁰ Recordi's que l'equació de centre s'aplica a l'anomalia excèntrica, és a dir, la primera anomalia, aquella que es deu, i considera, que els planetes no fan simplement òrbites circulars concèntriques, i per a la qual Kepler lliurà la seva primera llei. L'equació de centre vol plasmar la correcció entre el moviment uniforme i no uniforme d'un planeta [$k = c_3 + \bar{k}$, aquí $\widehat{DEP} = \widehat{PES} + \widehat{FDC}$, essent els dos últims de signe contrari], tot plegat remuntant fins a Ptolemeu.

Per tant \widehat{FDC} fóra l'anomalia excèntrica mitjana (\bar{k}) i \widehat{DEP} l'anomalia excèntrica corregida (k).

³¹ En l'oposició l'anomalia corregida des de l'apogeu de l'òrbita de la Terra val π :

$$\alpha = \bar{\lambda}_{\odot}^* - \lambda^* = 180^\circ \text{ [la del Sol coneguda per les taules,} \\ \text{la de Saturn per observació].}$$

I per tant l'anomalia mitjana des de l'apogeu mitjà val:

$$\bar{\alpha} = \alpha - c_3 = 180^\circ - c_3,$$

a dir, des de la conjunció mitjana del Sol i de Saturn (per tant del moviment mitjà de Saturn representat per la direcció de ST) fins al lloc R on hi ha la Terra.

– La longitud de l’apogeu [des de la primera estrella d’Àries] calculada amb aquesta tercera oposició ja s’ha dit que és:

$$(360^{\circ}+0;7^{\circ}) - 119;47^{\circ} = 240;20^{\circ} \quad ^{32}$$

Copèrnic ha lliurat doncs el valor de la longitud sideral de l’apogeu i el de l’anomalia mitjana en una oposició.

Abans de passar a l’estudi de Júpiter Copèrnic comprova la quantitat d’anomalia mitjana des de les observacions de Ptolomeu a les seves, que fa congruents els resultats, i la calcula per a les diferents èpoques estàndards. Anota que l’àpside més alt de l’excèntric s’avança aproximadament un grau cada cent anys. I estudia la relació entre el radi de l’òrbita de la Terra i el de Saturn (que oscil·la entre una relació de 1 a 9,42 i 1 a 8,39), i la màxima equació d’anomalia i la mínima³³.

[noti’s $\alpha - \bar{\alpha}$ és positiva per a $\bar{k} \leq 180^{\circ}$ i negativa per a $\bar{k} \geq 180^{\circ}$], que ja s’ha dit que Copèrnic anomena *anomalía commutationes, motus commutationes*: anomalia o moviment de commutació (equivalent del grec $\pi\alpha\rho\acute{\alpha}\lambda\lambda\alpha\xi\iota\varsigma$).

³² Es pot seguir també aquest camí: $\lambda_A^* = \bar{\lambda}^* - \bar{k}$, cf., per exemple, nota 17. En oposició també és valid que $\lambda_A^* = \bar{\lambda}^* - \bar{k} = \lambda^{*'} - k$

³³ Cf. nota 17.

VI EL REPTE HELIOCÈNTRIC

L'estudi de Saturn il·lustra quelcom que es troba més enllà d'aquest astre: que Copèrnic provà de lliurar en detall afers de cada planeta. Com Swerdlow i Neugebauer diuen:

«La teoria planetària de la longitud en el llibre V, particularment per als planetes superiors, és el més admirable assoliment, i el més exigent, de Copèrnic. El treball teòretic sobre aquesta matèria, el desenvolupament dels models heliocèntrics, en tot allò que és essencial equivalent al de Ptolemeu, però conservant la rotació uniforme de les esferes components exigida pels principis físics, ha estat establerta ja en el *Commentariolus*. Fou sobretot la decisió de derivar nous elements per als planetes que retardà la continuació del seu treball gairebé la meitat dels anys de vida de Copèrnic – prop de vint anys dedicats a l'observació i llavors uns altres afegits a la més tediosa classe de càlcul –, i els seus contemporanis reconegueren el resultat com d'igual valor que l'assolit pel mateix Ptolemeu, que era segurament la lloança més gran possible per a un astrònom»³⁴.

Sens dubte el coneixement astronòmic es mou d'acord amb el que es percep i el que s'hi pensa – sense que s'exclouï que es percebi intencionalment –, i la quantificació permet de cenyir les relacions en tot allò que es representa (intencionalment) o es pensa. Tanmateix, si les orbes celestes es pensen, mai no hi ha una quantificació (pròpiament parlant) del seu moviment, com no n'hi ha de cap altre moviment. En astronomia el moviment es troba, com a objecte pensat, en la meditació de l'astrònom.

Certament el *De revolutionibus* introdueix canvis en els models tradicionals sense que s'hi exclouï la voluntat de fer-ho per a alliberar-se de conseqüències no desitjades (per exemple, excèntrics on el planeta no gaudeix de moviment uniforme respecte del seu centre). Les noves observacions – i l'estudi de les dels avantpassats – s'encaminen a fer-les congruents amb les noves aportacions. Tot això faria cas omís d'expressar-se en termes, per exemple, que Copèrnic es

³⁴ Ídem, I pàg.77.

veié obligat a admetre epicicles, com si això fes perdre la bellesa dels cercles, perquè de fet continuà desenvolupant els models anteriors. Si no és Kepler, caldria preguntar-se seriosament si hagués estat possible Kepler sense Copèrnic.

El *De revolutionibus* s'entén sols des de les obres dels astrònoms anteriors: és des del geocentrisme que hi ha el pas a l'heliocentrisme (tant per a Aristarc com per a Copèrnic). Els problemes físics que comportava (per què cauen verticalment els objectes, no se'n van els núvols, etc.) no semblen impedir que hi ha una coherència en el model astronòmic matemàtic. La sort de l'obra deuria raure que aparegués en un moment de renovació en molts aspectes, d'avenç en la independència de criteri, de l'estudi d'uns altres homes disposats a defensar físicament que la Terra es mou, en conjunt de renovació de les arts i de les ciències.

La revolució copernicana arrossegà el capgirament d'assumpcions bàsiques, una avaluació que es deu al que comportà l'alteració dels cels i de la Terra: la destrucció (posterior a Copèrnic) de les orbes, la superació de l'aristotelisme, el naixement de la mecànica clàssica, l'ús del telescopi, etc. Sigui com sigui la defensa de l'heliocentrisme des del geocentrisme sembla encara avui una gesta desconcertant: si Copèrnic fou conscient de les dificultats amb què la seva obra podria trobar-se, avui dia continua essent objecte de la meditació com fou possible que algú pogués arribar-hi, i gosés fer-ho, mentre el seguiment del viratge des de models anteriors (grecs, àrabs i medievals) no fa empal·lidir ni de bon tros les seves resultants.

* * *

Quina és la rellevància de dir que des de Copèrnic, i sols des d'aquest (el cas d'Aristarc no hauria passat de ser una hipòtesi no sostinguda per un sistema de càlculs), l'home no és el centre de l'univers?

La gosadia d'arrancar la Terra dels seus fonaments i de llançar-la cap al cel malgrat l'ensenyament científic, filosòfic i teològic de l'època, i més tard donant el cop mortal a un antropocentrisme, no lleva la circumstància que no sembla que el mateix Copèrnic, sabedor

d'aquestes oposicions, fes un especial cabal d'una pèrdua de centralitat humana³⁵.

En efecte el pas d'un sistema a un altre no comporta més que un ajustament de les necessitats (equivocades o encertades) intel·lectuals. Copèrnic sembla que passà d'un lloc a l'altre per problemes físics i matemàtics a propòsit d'un model que el decep. Però això no desbanca cap prerrogativa humana, sinó que més aviat és la resultant d'una actuació de l'home.

L'afer té alguna importància perquè hi fa intervenir que els models astronòmics són les resultants d'una tasca àrdua; que en tots els casos el centre físic d'un univers gaudiria d'unes característiques comparables; que tot no pot pas de deixar de tenir la forma d'una subjectivitat.

Això vol dir que qualsevol vertigen posterior no ho seria pas per l'heliocentrisme tal qual ni àdhuc per un espai infinit, sinó perquè un mateix no hauria sabut com pensar-se, després del sotrac científic, filosòfic i teològic, al qual el copernicanisme hauria contribuït decididament, potser fins i tot malgrat el mateix Copèrnic. I així com el geocentrisme sembla el graó primer abans d'un possible

³⁵ Aquesta normalitat es fa patent en molt llocs. Vegi's les paraules d'A.Koiré: «Aquest *Commentariolus [es difon el 1507 en còpies manuscrites]* sembla haver tingut una difusió bastant gran. És probable – si més no així ho conta Tiraboschi [*Storia della letteratura Italiana, Milan, 1824, vol.VII, pàg.706*] – que aquell treball arribés a Roma, on des de 1533 Johann Widmanstadt pot exposar al papa Climent VII les bases de la nova astronomia. A Roma ningú no en va fer escarafalls. Més bé, tres anys més tard, el cardenal arquebisbe de Càpua, Nicolau Schonberg escriu a Copèrnic (el 1 de novembre de 1536) exhortant-lo a publicar els seus descobriments i pregant-li de fer fer (a costa del cardenal) una còpia de tots els seus treballs», a *Nicolas Copernic, Des Révolutions des Orbes célestes; traduction avec introduction et notes par A. Koyré, Félix Alcan, París, 1970 (1ª1934), [Textes et traductions 8]*, pàgs.9-10.

També gaudí d'un considerable èxit el resum que Joachim Rheticus escrigué, la famosa *Narratio prima*, editada el 1540 (el 1541 tingué una nova edició). Que les primeres reaccions foren favorables ho mostra el fet que Erasmus Reinhold féu el 1551 unes taules astronòmiques calculades a la vegada segons els mètodes de Ptolemeu i de Copèrnic.

heliocentrisme, així Copèrnic hauria lliurat l'ocasió, en una època de novetat, per a tota mena de canvis, en especial per a l'astronomia heliocèntrica.

No ser el centre físic de l'univers no sembla rellevant per a l'home: el que hi ha seria rellevant perquè ell hi és.

