

ASTRONOMIA PER A XICOTS DE 14 ANYS UNA MICA ESPAVILATS

J. Girbau Badó

§ 1 LA VOLTA CELESTE

Si una nit observo les estrelles, m'adono que lentament es van movent i que el seu moviment, aparentment, es comporta com si totes les estrelles estiguessin enganxades a una esfera de centre l'observador i radi molt gran que girés uniformement entorn d'un eix que uneix l'observador amb un punt d'aquesta esfera molt pròxim a l'estrella polar.

Aquesta esfera on les estrelles se suposaven enganxades i l'existència material de la qual no es va posar en dubte fins al Renaixament, serà anomenada "volta celeste".

El seu radi s'ha de suposar molt, molt gran per a explicar el següent fet experimental. Si des de dos punts distints de la terra s'observa una mateixa estrella, les rectes observador-estrella, per als dos observadors, resulten ésser paral·leles.

Cal doncs imaginar-se que la volta celeste té radi molt gran en comparació al radi de la terra, de tal manera que la terra pot identificar-se a un punt situat al centre d'aquesta volta.

Es un fet comprovable que un observador situat al pol nord terrestre té l'estrella polar situada gairebé damunt del seu cap. Per tant l'eix de rotació de la volta celeste és prolongació de l'eix que uneix el centre de la terra amb el pol nord.

De fet, fins al Renaixament, es va creure que la terra estava immòbil al centre de la volta celeste i aquesta girava entorn de la terra una volta cada dia, aproximadament. Amb el pèndol de Foucault es pot demostrar que

és la terra la que gira entorn de l'eix pol nord-pol sud. Llavors, amb aquesta concepció la volta celeste s'estaria quieta i la terra giraria.

S'ha anat veient, des del Renaixement cap aquí, que les estrelles estan a distàncies distintes de la terra i que per tant no poden estar totes enganxades a la volta celeste. Encara que l'existència material d'aquesta volta s'hagi abandonat, s'ha vist que la seva utilització com a "concepte" purament matemàtic, resulta molt útil. En efecte, si fem abstracció de les distàncies a què es troben de nosaltres les diferents estrelles, el que nosaltres veiem d'elles queda determinat pel raig de llum que uneix una determinada estrella amb l'observador. Aquest raig talla en un únic punt la volta celeste. Per tant nosaltres veiem aquella estrella com si estigués enganxada a la volta celeste en aquell punt. L'avantatge d'utilitzar el concepte de volta celeste, encara que aquesta no existeixi materialment, és que, per tractar-se d'una esfera, la podem dotar de coordenades (similars a la longitud i latitud geogràfiques) que permetran situar amb precisió totes les estrelles sobre aquesta esfera.

D'ara endavant nosaltres descriurem els fenòmens tal com nosaltres els veiem. Suposarem doncs un observador quiet en un lloc de la terra; la terra quieta, i la volta celeste que gira.

§ 2 LES CONSTEL·LACIONS

Quasi tothom, per desgràcia, quan mira el cel una determinada nit, només veu estrelles, però no sap identificar-les. Si prenem una determinada persona i li fem observar el cel una nit, i al cap d'una setmana l'hi fem tornar a observar, el més probable és que aquesta persona no sàpiga reconèixer si les estrelles que ha vist la segona vegada eren o no les matei-

xes que les que va observar la primera volta.

Per a fer qualsevol observació s'han de conèixer les estrelles; si més no, algunes d'elles que serveixin de referència.

L'Home, en el transcurs de la Història ha anat unint per línies imaginàries alguns estels del cel que li semblaven que formaven diferents dibuixos. Els grups d'estels així units formant un determinat dibuix, s'anomenen constel·lacions. Cada constel·lació porta un nom que a vegades fa referència al dibuix que forma. Així per exemple, el lleó, les balances, els peixos, l'ossa major, l'ossa menor. . . són constel·lacions. Dins de cada constel·lació, les estrelles que la constitueixen porten a vegades noms propis, però en tot cas, cada una d'elles és sempre designada per una lletra grega. L'estel que porta la lletra α és sempre el més brillant de la constel·lació. El que porta la β és el que el segueix en brillantor, etc.

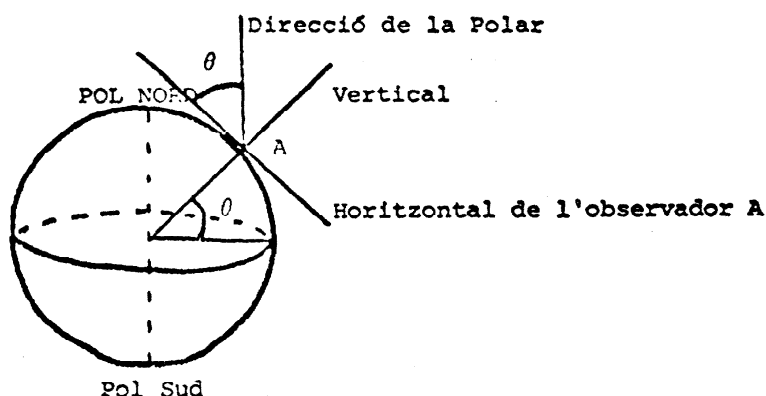
Es molt important aprendre a conèixer algunes constel·lacions per tal de saber reconèixer el cel en cada època de l'any. Els planisferis celestes poden ser de gran utilitat per aprendre a reconèixer les constel·lacions.

§ 3 LATITUD GEOGRÀFICA DE L'OBSERVADOR

La latitud geogràfica d'un observador situat sobre l'esfera terrestre és l'arc de meridià (mesurat en graus, minuts i segons) comprès entre l'equador i l'observador. Les latituds de l'hemisferi nord es prenen positives i les de l'hemisferi sud, negatives.

Anem a donar aquí una altra descripció de la latitud per a observadors de l'hemisferi nord. Hem dit a § 1 que l'estrella polar es troba gairebé sobre el pol nord. La diferència de posició a l'esfera celeste entre l'estrella polar i el pol nord celeste (obtingut prolongant l'eix que

uneix el pol sud i el pol nord terrestres) és molt petita. Per tant, per simplificar, suposarem a partir d'ara que l'estrella polar està situada al pol nord de l'esfera celeste. Això equival a dir que està situada sobre el cap d'un observador que estigués al pol nord de la terra. Si admetem això, podem descriure la latitud d'un observador com l'angle que forma la recta observador-estrella polar amb el pla horitzontal de l'observador. El fet que aquesta latitud concideixi amb la que hem definit abans es pot demostrar amb el següent dibuix:



Els dos angles anomenats θ són iguals per tenir els costats perpendiculars. θ és la latitud de l'observador A.

§ 4 LA HISTORIA D'EN PERE I EL SEU ONCLE

En els apartats següents voldria contar-vos la història d'en Pere, un noi de 14 anys molt intel·ligent, que tenint només les primeres nocions d'astronomia exposades en els apartats anteriors, va proposar-se observar amb deteniment aquells fets astronòmics que ell mateix, a casa seva, sense tenir cap aparell especial al seu abast, podia mesurar. En Pere volia fer-ho tot des del començament, comprovant-ho tot per ell mateix. Els experiments que ell va idear poden ser repetits per qualsevol persona, a casa

seva. Per això considerem important la història d'en Pere.

El nostre protagonista tenia un oncle que era astrònom professional i que sempre l'atabalava amb munts de coneixements sobre astronomia que volia entaforar en el seu cervell, sinó de grat, per força. En Pere, però, s'hi resistia tant com podia perquè volia sempre arribar als coneixements per ell mateix.

§ 5 EN PERE DESCOBREIX EL TEMPS ESTEL·LAR

En Pere va adonar-se del fet següent: Si sortia cada dia a la mateixa hora del seu rellotge, per exemple a les 10 de la nit, i observava el cel, no veia sempre les mateixes constel·lacions en el mateix lloc, sinó que aquestes s'anaven desplaçant lleugerament cap a l'oest en dies successius. Prenent com a referència una paret de casa seva va vulguer mesurar aquest fenomen. En Pere observava el cel des del jardí de casa seva. Aquest jardí limitava, a l'oest, amb una paret que va ser la que en Pere va utilitzar. Va fer un senyal en aquesta paret i situant sempre el seu ull en aquest senyal va observar en dies successius a quina hora s'ocultava una determinada estrella per aquella paret. Els seus mesuraments no podien tenir gaire precisió. Depenent de com posava l'ull a la paret podia tenir un error d'uns segons (no gaires) en determinar l'hora de l'ocultació. Observant les ocultacions d'una mateixa estrella en dies successius va veure que l'ocultació es produïa uns 4 minuts abans cada dia que passava.

En Pere va pensar que el temps que marcaven els rellotges usuals s'adeïa amb els conceptes de dia i nit que estaven lligats al sol, però no s'adeïa amb el moviment de la volta celeste. Si jo vulgués observar els es-

tels, seria bo, va pensar, disposar d'un rellotge que avancés uns 4 minuts cada dia respecte dels rellotges usuals. Per un tal rellotge, cada dia a la mateixa hora veuríem exactament el mateix cel (els estels en el mateix lloc que el dia anterior). El temps que marqués aquest rellotge es podria anomenar temps estel·lar perquè seria un temps que estaria d'acord amb la posició dels estels.

Per construir un tal rellotge, en Pere volia saber exactament, a la centèsima de segon, quant calia que aquest rellotge s'avancés cada dia respecte els rellotges usuals. Per això va pensar el següent procediment: Si fossin 4 minuts cada dia el què calgués avançar (ell ja havia vist previament que era d'aquest ordre), en un any civil de 365 dies caldria avançar $365 \times 4 = 1.460$ minuts, que són 24,33 hores. És a dir que hauria d'avançar 1 dia i una fracció, la qual voldria determinar amb exactitud. En dos anys civils de 365 dies cada un, és a dir, en 730 dies, caldria avançar 2 dies i una determinada fracció que voldria determinar exactament. Imaginem que surto avui i observo l'hora t_0 que s'oculta una estrella per la paret. Al cap de 730 dies observo l'hora t_1 que s'oculta la mateixa estrella. El rellotge que vull construir s'hauria d'avançar cada dia, respecte els rellotges usuals

$$\frac{48 + t_0 - t_1}{730} \text{ hores}$$

Per aquest procediment, l'error d'observació, que pot ser d'alguns segons, en les observacions de t_0 i t_1 , seria de poca importància doncs quedaria repartit en els 730 dies. A més, en aquest procediment el fet que l'observació es repeteixi al cap de 730 dies exactament no és essencial. El càlcul igual funcionaria si per comptes de 730 dies se'n haguessin prèns 725

ó 735 per exemple. De manera que no cal que em preocupi si al dia 730 no puc observar l'estel perquè està núvol, per exemple.

En Pere, però, va pensar que hauria d'invertir 2 anys en l'experiment i això el va entristir. De segur que això que jo he ideat ho ha pensat algú abans, va pensar. Jo em podria aprofitar de l'experiència dels demés. Va preguntar al seu oncle sobre el particular, el qual va dir-li:

El rellotge que tu pretens construir s'anomena rellotge de temps sideri. El dia sideri que tu busques, és a dir, l'interval de temps entre dues ocultacions successives de la mateixa estrella per la mateixa paret és de 23 hores 56 minuts i 4,09054 segons del temps que marquen els rellotges usuals. La relació entre un dia usual i un dia sideri és

$$\frac{24 \text{ hores}}{23 \text{ hores } 56 \text{ minuts } 4,09054 \text{ seg.}} = 1,002737909265$$

Com veurem més endavant, l'oncle no deuria ser un astrònom gaire bo perquè va enredar, no se sap si deliberadament o no, en Pere amb aquestes dades que li va facilitar. Però de moment, en Pere se'l va creure i va començar a treballar sobre aquestes dades.

Amb això, va pensar en Pere, jo puc fabricar un rellotge de temps sideri. Però em cal naturalment un origen de temps. L'origen que prengui sempre serà arbitrari. Per això tan me fa prendre'n un com un altre. Preguntaré al meu oncle si els astrònoms professionals fan servir un origen concret i jo faré servir el mateix que ells. Quan en Pere va preguntar això al seu oncle, el seu oncle li va demanar amb exactitud la longitud geogràfica del jardí des d'on en Pere es proposava fer totes les observacions. En Pere va quedar una mica parat d'aquesta pregunta. Com que ell no sabia la longitud geogràfica del seu jardí, va comprar un mapa molt detallat de la

regió (L'editorial ALPINA de Granollers té mapes molt detallats, per a excursionistes, de bastants regions de Catalunya). Amb aquest mapa va poder determinar les coordenades geogràfiques del seu jardí, situat a l'Ametlla del Vallès. Aquestes coordenades són:

LATITUD : 41º 39' 52"

LONGITUD : 2º 15' 42.5" EST (DE GREENWICH)

Amb aquestes dades, el seu oncle li va dir: Un astrònom professional prendria el següent origen de temps sideri: El dia 1 de Gener de 1983, a la 1 de la nit (hora oficial) posaria el rellotge de temps sideri de manera que marqués les 6 hores 49 minuts 22.76 segons.

En Pere va trobar molt arbitrari aquest origen, però tots els orígens són arbitraris, va pensar, de manera que el va acceptar. Es va construir un rellotge de temps sideri fent servir un rellotge ordinari, de pèndol. Fent una mica més curt el pèndol va aconseguir que el rellotge avancés aproximadament 3 minuts i 56 segons cada dia respecte dels rellotges usuals. El dia 1 de Gener de 1983, a la una de la nit, va fer que el seu rellotge marqués les 6 hores 49 minuts.

No hi ha cap rellotge que sigui exacte, va pensar. D'aquí uns dies ja s'haurà avançat més o menys del què caldria i ja no anirà bé. Va pensar que cada dia o cada 2 dies corregiria manualment l'hora, com es fa en quasi tots els rellotges. Per això caldria saber exactament la correcció que hauria de fer. Fent una regla de 3 va obtenir la següent fórmula, que dona exactament l'hora sidèria coneixent l'hora oficial

$$h = t_0 + a t \text{ mòdul } 24$$

on h indica l'hora sidèria en un determinat instant de temps, t indica el temps transcurregut des de l'1 de Gener de 1983 a la 1 de la nit, expressat en hores oficials, t_0 és 6 h. 49 minuts 22.76 seg., expressat en hores, i a és la constant 1.002737909265 trobada abans.

Fent servir aquesta fòrmula, cada dia o dos corregia manualment el seu rellotge, de manera que així, el tenia sempre a l'hora, amb bastant exactitud.

Després ja va abandonar el rellotge de pèndol i feia servir un rellotge digital que marcava, com tots, l'hora oficial. Ell traduïa llavors l'hora oficial a hora sidèria, fent servir la fòrmula anterior.

§ 6 EN PERE INTRODUEIX UNES COORDENADES A LA VOLTA CELESTE

Com que la volta celeste és una esfera, va pensar en Pere, per localitzar qualsevol punt del cel jo puc utilitzar coordenades similars a la latitud i longitud geogràfiques. Anomenaré equador celeste, va pensar en Pere, el cercle màxim obtingut per intersecció de la volta celeste amb el pla que passa per l'observador i és perpendicular a l'eix observador-estrella polar. Anàlogament puc definir els meridians celestes que seran cercles màxims perpendiculars a l'equador i que passen per la polar. Anomenaré latitud celeste d'una estrella l'angle, mesurat sobre el meridià celeste que passa per l'estrella, entre l'estrella i l'equador. Prendré latituds positives per les estrelles que estiguin per sobre l'equador i latituds negatives per les estrelles que estiguin per sota.

Com ho faré per definir la longitud celeste?, va pensar. Per definir la longitud geogràfica d'un punt sobre la terra es parteix d'un origen arbitrari acceptat per tothom, el meridià de Greenwich. Al cel, necessitaré també un meridià arbitrari per començar a comptar les longituds celestes. Podria prendre com origen de meridians celestes el meridià que a les 0 hores de temps sideri passi per damunt del meu cap. Com que la volta celeste gi-

ra una volta exacta cada 24 hores sidèries, puc definir la longitud celeste d'una estrella com l'hora sidèria que marca el meu rellotge quan el meridià celeste d'aquella estrella passa per damunt del meu cap. Mesuraré doncs les longituds celestes en hores, minuts i segons de temps sideri, la qual cosa em resulta ser més pràctica que mesurar-les amb graus com es fa per les longituds geogràfiques. Quan en Pere va haver pensat tot això li ho va comunicar al seu oncle, el qual li va dir que els astrònoms professionals feien exactament el què ell havia pensat, només que a les latituds celestes les anomenaven declinacions i a les longituds celestes les anomenaven ascensions rectes.

§ 7 OBSERVACIONS DEL SOL DURANT UN ANY, MESURANT L'OMBRA D'UN CORDILL

En Pere tenia clar que el sol no es comportava pas com les estrelles fixes, sinó que s'anava movent per l'esfera celeste. La primera cosa que va voler observar va ser precisament aquest moviment del sol per la volta celeste.

Si pogués determinar cada dia amb precisió les coordenades del sol (ascensió recta i declinació), va pensar en Pere, podria veure quina trajectòria segueix. Però, com mesurar aquestes coordenades? En Pere va idear un procediment molt senzill per fer això. Per a posar en pràctica aquest procediment en Pere necessitava:

A) Una pista asfaltada (o en tot cas, llisa) sobre la que hi toqués el sol. Va escollir per això el terra d'un garatge, que tenia una gran portalada per la que entrava el sol una bona part del dia.

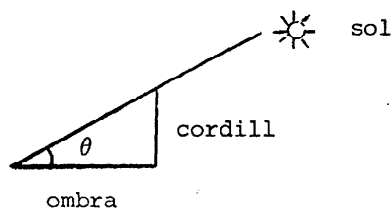
B) Un cordill de 2 o 3 m. de llarg, suspès verticalment sobre la pista A), amb un pès al cap d'avall per a mantenir-lo vertical. El pès hau-

ria d'estar quasi bé tocant a terra. En Pere va lligar un cordill a un clau del sostre del garatge.

C) Una recta marcada a terra que assenyalés amb precisió la direcció Nord-Sud i que passés pel punt (ideal) d'intersecció entre el cordill i el pla de terra.

D) Un rellotge de temps sideri.

De totes aquestes coses la més problemàtica era C). Com es podia fer per traçar exactament, amb molta precisió, la línia Nord-Sud? Deixem això per més endavant i anem a exposar el mètode ideat per en Pere. El mètode consistia en observar l'ombra que fa el cordill a terra quan hi toca el sol. Quan l'ombra coincideix exactament amb la línia Nord-Sud vol dir que el sol, la línia Nord-Sud i el cordill es troben en el mateix pla. Això vol dir que el meridià celeste que passa pel sol, passa en aquell moment per la recta vertical que prolonga el cordill cap amunt. Si miro l'hora en el rellotge sideri, aquella hora serà (per definició) l'ascensió recta del sol. Com que el cordill és bastant llarg i l'ombra també, podré determinar aquesta hora amb molta precisió (± 1 segon). Per calcular la declinació del sol, mesuro en aquell instant de temps la longitud de l'ombra. Si dic L_c la longitud del cordill i L_0 la longitud de l'ombra podré mesurar l'angle θ que formen la direcció dels raigs solars amb el pla de terra.

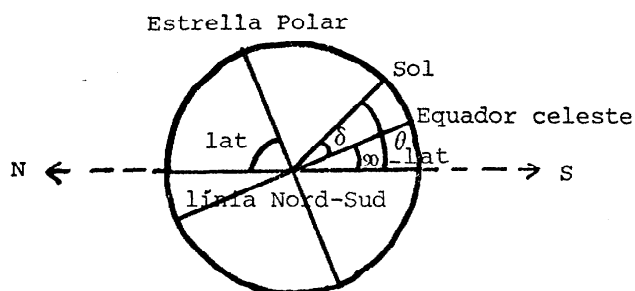


$$\operatorname{tg} \theta = \frac{L_c}{L_0}$$

La declinació del sol l'obtindré per

$$\delta = \theta + \text{lat} - 90$$

on δ és la declinació del sol i lat és la latitud del lloc. Això queda demostrat per la següent figura:



§ 8 COM S'HO VA FER EN PERE PER DIBUIXAR AMB PRECISIÓ LA LÍNIA NORD-SUD

En el mètode descrit a l'apartat anterior havíem deixat un problema pendent: com dibuixar a terra, amb precisió, la línia Nord-Sud. En Pe re va pensar diversos mètodes. El primer d'ells consistia en fer servir un mapa molt detallat del seu poble, posar-lo sobre el terreny i veure la direcció Nord-Sud del mapa a quina direcció corresponia sobre el terreny. Aquest mètode, però, no li donaria la precisió que ell desitjava. Un altre mètode con sistia en mirar per la nit l'estrella polar i projectar perpendicularment la línia observador-polar sobre el pla de terra. Això li va semblar molt fàcil només que, va pensar, necessitaria algun aparell per determinar amb precisió la línia observador-polar i després projectar-la. El seu oncle, sens dubte, tindria molts aparells per a fer això i podria deixar-n'hi un (només per un dia). Tenia encara una dificultat suplementària: el lloc que en Pere havia escollit per a fer les experiències era l'interior d'un garatge, i des d'allí no es veia pas l'estrella polar. Va pensar per un moment d'enderrocar el sos

tre del garatge i una vegada marcada la línia Nord-Sud tornar-lo a construir.

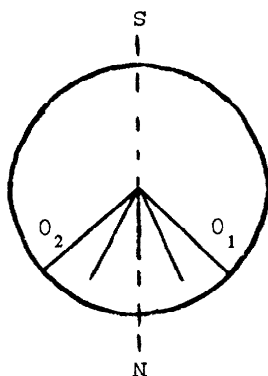
El problema de traçar la línia Nord-Sud amb molta precisió era, aparentment, un problema sense importància i se li estava complicant més del compte. Les dificultats venien de la molta precisió amb què la volia i de la manca d'aparells. Va decidir acudir al seu oncle, excepcionalment, només en aquesta ocasió. El seu oncle va consultar un anuari astronòmic i li va dir: El dia tal a tal hora, el meridià celeste que passa pel sol, passarà exactament per damunt del teu cap. Dibuixa l'ombra que faci el cordill en aquell instant i tindràs la línia Nord-Sud amb molta precisió.

En Pere va acceptar, només en aquesta ocasió, l'ajut del seu oncle i ho va fer tal com ell li ho va dir.

Al cap d'uns dies, quan ja havia observat en diverses ocasions l'ombra del cordill projectada pel sol quan aquesta coïncidia amb la línia Nord-Sud, tal com hem explicat a l'apartat anterior, es va adonar que l'ombra era sempre més llarga abans o després de travessar aquesta línia que en el moment de fer-ho. Va comprendre que això era degut a què quan el meridià celeste que passa pel sol, passa per damunt del nostre cap, l'angle de la línia observador-sol amb el pla horitzontal ateny el seu màxim valor i per tant, l'ombra del cordill és la més curta possible. Va pensar que, utilitzant aquest fet, hagués pogut traçar la línia Nord-Sud sense haver de menester per res el seu oncle. Calia, però, inventar-se un procediment que permetés adonarse exactament de quan aquesta ombra era el més curta possible. En Pere va idear un procediment molt enginyós, que és el següent:

En un moment determinat del matí, arbitrari, mira l'ombra del cordill i traça una circumferència de centre la intersecció del cordill amb el terra, i radi la longitud de l'ombra aquell moment. Dibuixa també a terra l'ombra O_1 del cordill en aquell instant. A partir de llavors, com que

l'ombra va disminuint, queda dintre de la circumferència. Després d'haver passat per un mínim, l'ombra torna a créixer i surt de la circumferència. Això passarà per la tarda. En Pere observa el precís instant en què l'ombra talla la circumferència (per la tarda) i dibuixa a terra aquesta ombra O_2 . Per raons de simetria la línia Nord-Sud que busca és la bissectriu de l'angle que té per costats O_1 i O_2 .

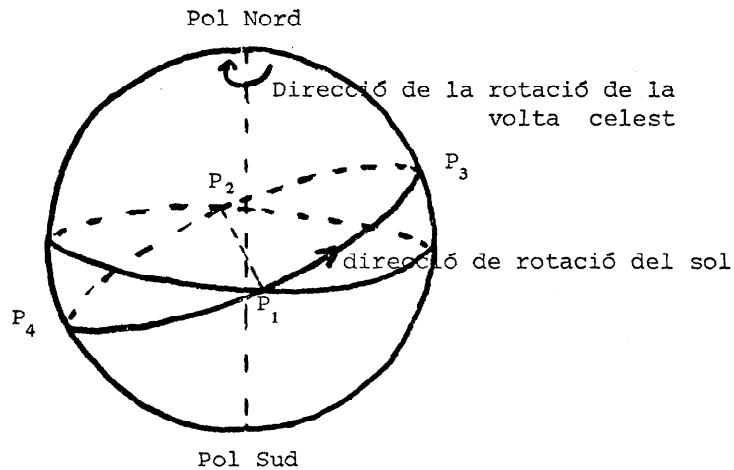


§ 9 EN PERE VA FER OBSERVACIONS DEL SOL DURANT MÉS D'UN ANY

Sabent ja calcular les coordenades del sol cada dia que ell volia, en Pere es va dedicar a fer observacions del sol. No cada dia, perquè al migdia estava habitualment al col·legi, sinó els dissabtes i diumenges que no estava núvol. Cada dia que feia una observació, determinava les coordenades del sol i s'ho apuntava en un full de paper. Això ho va fer durant més d'un any. Primer, en una esfera molt grossa que s'havia comprat (procedent d'una bola de món) i sobre la qual havia dibuixat molts meridians i paral·lels, anava dibuixant la posició del sol a cada observació. Després va aprendre al col·legi una mica de geometria analítica i va decidir que no calia anar dibuixant materialment sobre una esfera les diferents posicions del

sol. En el transcurs de més d'un any va poder comprovar que tots els punts de l'esfera celeste corresponents a les seves observacions del sol, estaven aproximadament sobre un pla que tallava l'esfera celeste en un cercle màxim. Va calcular l'angle que feia aquest pla amb l'equador celeste i va obtenir $23^{\circ} 27'$. Va observar que el sol no es movia pas amb moviment uniforme sobre aquest cercle màxim. A temps iguals no corresponien pas angles iguals. Això el va sorprendre extraordinàriament. Va calcular les coordenades dels punts P_1 i P_2 d'intersecció del cercle sobre el que es movia el sol amb l'equador celeste. Aquestes coordenades les va calcular per interpolació entre dues observacions, una abans i l'altra després de travessar l'equador. Evidentment, la declinació δ d'aquests dos punts havia de ser zero perquè tots els punts de l'equador tenen declinació nul·la. Però l'ascensió recta α de P_1 i P_2 li va sortir aproximadament 0h. i 12h. Naturalment les ascensions rectes depenien de l'origen de temps sideri (recordem que aquest origen li havia estat facilitat pel seu oncle). Va comprendre llavors, a posteriori, que l'origen que el seu oncle li havia proposat estava calculat perquè l'ascensió recta de P_1 fós 0. Què volia dir que la α de P_1 fos zero? Per definició d'ascensió recta volia dir que el meridià celeste que uneix P_1 amb el Pol Nord passava cada dia a les 0 hores de temps sideri per damunt del cap d'en Pere. Per tant, el temps sideri es començava a comptar cada dia quan aquest meridià celeste passava per damunt del seu cap.

En Pere va anotar a la seva llibreta els dies i hores (hores oficials) en què el sol havia passat per P_1 i P_2 . Això ho va fer per interpolació entre observacions fetes abans i després de què el sol passés per aquests punts. També va anotar a la seva llibreta els dies i hores en què el sol havia passat pels punts P_3 i P_4 d'ascensions rectes 6h. i 18 h.



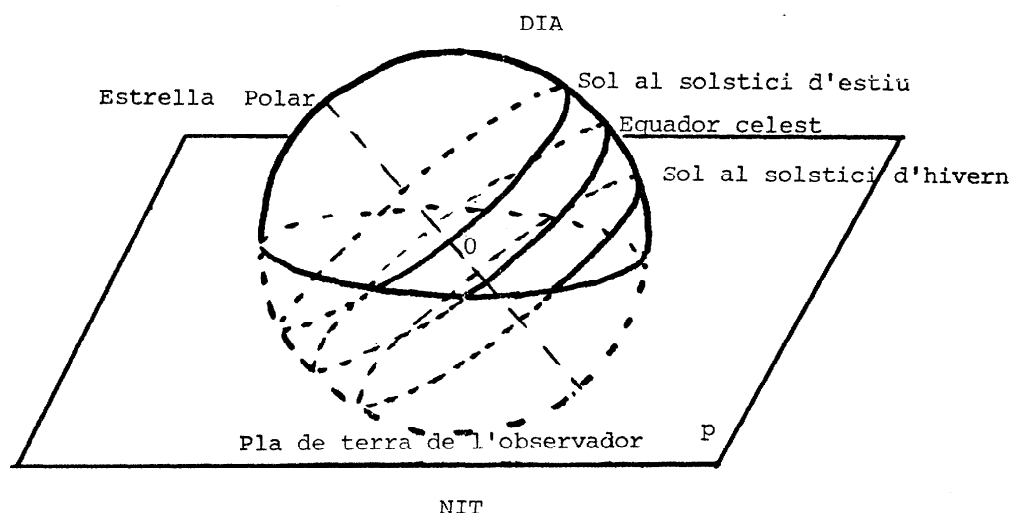
§ 10 EN PERE DESCOBREIX LA DURACIÓ EXACTA D'UN ANY I EL PERQUÈ DE LES ESTACIONS

En Pere va explicar al seu oncle els descobriments que ell havia fet i aquest, després d'haver-lo felicitat pels seus progressos, li va dir que el cercle màxim de l'esfera celeste sobre el què es movia el sol, s'anomenava eclíptica i que el punt que en Pere havia anomenat P_1 era anomenat punt γ , punt vernal o equinocci de primavera. P_2 era anomenat equinocci de tardor, i P_3 i P_4 solsticis d'estiu i hivern respectivament.

En Pere estava molt content podent determinar, amb l'ajut només d'un cordill i un rellotge, les posicions exactes del sol, i podent calcular per interpolació entre dues observacions, el moment exacte en què el sol passava pels punts P_1 , P_2 , P_3 i P_4 de la figura de l'apartat anterior. Va voler observar el temps exacte que tardava el sol per descriure tota l'eclíptica, des de P_1 fins a P_1 una altra vegada, i va obtenir que aquest temps era de 365,24 dies (dies de 24 hores oficials, no dies sideris!). Va pensar que observant el sol quatre o cinc voltes completes a l'eclíptica po-

dria determinar aquest període amb més exactitud. De totes maneres va decidir preguntar al seu oncle el període exacte de revolució i aquest li va dir que la duració del període que li preguntava era de 365.24219879 dies.

En Pere va reflexionar sobre el perquè de les estacions i va trobar la següent explicació:



Suposem l'observador situat al centre de l'esfera celeste 0 . Sigui p el pla horitzontal (el terra de l'observador), que se suposa prolongat indefinidament fins a tallar l'esfera celeste. A la figura s'ha dibuixat l'equador celeste així com dos paral·lels celestes, un situat a $23^{\circ} 27'$ de declinació i l'altre a $-23^{\circ} 27'$. Quan el sol està en un dels dos equinoccis, està sobre l'equador celeste. Suposem, per simplificar, que durant tot un dia està sobre l'equinocci (la qual cosa només és certa en primera aproximació ja que durant un dia el sol recorre un angle sobre l'eclíptica de prop d'un grau). Llavors, quan l'esfera celeste dóna una volta, l'observador situat a 0 veu durant aquell dia sideri el sol per damunt de l'horitzó el mateix temps que per sota l'horitzó, com es pot veure a la figura. Es a dir, el dia dura igual que la nit. La figura també mostra el moviment diurn del sol quan

aquest està en els solsticis. Es veu que en el solstici d'estiu el dia és molt més llarg que la nit, al contrari del que succeeix al solstici d'hivern.

§ 11 EN PERE DESCOBREIX QUE EL SEU ONCLE L'HA ENREDAT I QUEDA MOLT DECEBUT

Recordeu que a l'apartat 5 explicavem que en Pere volia mesurar exactament el temps transcurregut entre dues ocultacions successives d'una estrella per una paret. Havia vist per ell mateix que aquest temps era aproximadament de 23 hores i 56 minuts de temps "oficial" i per a mesurar-ho exactament havia preparat una experiència que durava 2 anys. Per no esmerçar tant de temps en l'experiència va decidir de preguntar aquesta duració al seu oncle, el qual li va dir que aquest període que ell buscava era de 23 hores 56 minuts i 4.09054 seg. Amb aquestes dades en Pere s'havia fabricat un rellotge de temps sideri i amb el rellotge de temps sideri mesurava l'ascensió recta dels astres. Totes les experiències que en Pere havia fet es fonamentaven en la duració exacta del dia sideri que li havia facilitat el seu oncle.

En Pere, a més de les experiències que hem descrit, anava comprovant que la duració del dia sideri que li havia facilitat el seu oncle estés d'acord amb la realitat. Per això mirava l'ocultació d'una determinada estrella per una paret i anava comprovant si cada dia que l'observava, l'estrella s'ocultava a la mateixa hora sidèrea. Al principi tot anava bé i l'estrella per ell elegida s'ocultava puntualment per la paret a la mateixa hora sidèrea. No obstant, al cap d'uns 2 anys, en Pere va veure que l'estrella s'ocultava uns 6 segons després del que havia de fer-ho. Va pensar que aquesta diferència era un error d'observació. Al cap d'uns tres anys, però, l'es

trella s'ocultava uns 9 segons més tard del què havia de fer-ho. Va començar a desconfiar de que això fos degut a errors d'observació. Si fós així, l'error dependria de l'atzar i una vegada veuria l'estrella que s'ocultaria una mica abans i una altra vegada veuria que s'ocultaria una mica després. En canvi, ell sempre veia que l'estrella s'ocultava després que havia de fer-ho. A més, amb el temps, l'error anava augmentant. No hi havia cap dubte. La dada de 23 hores 56 minuts i 4.09054 seg. que li havia facilitat el seu oncle era incorrecta. I el seu oncle era astrònom professional!!! No es podia confiar en ningú.

Això era molt greu per en Pere, perquè si aquesta dada estava malament totes les seves deduccions estaven mal fetes. Hauria mesurat malament les ascensions rectes del sol. La trajectòria descrita pel sol a l'esfera celeste (l'eclíptica) no seria tal com ell havia deduit que era. Potser totes les posicions del sol sobre l'esfera celeste no estarien pas en un mateix pla. Això era una tragèdia !!!

Va anar a increpar el seu oncle, el qual es va quedar perplex. Efectivament el dia sideri era de 23 hores 56 minuts i 4.09054 segons tal com ell li havia dit. Va mostrar-li un munt de llibres per a corroborar la seva afirmació. No obstant, en Pere continuava increpant-lo violentament doncs això no s'adeia amb la realitat. Quan en Pere va explicar-li que ell mirava l'ocultació d'una determinada estrella per una paret i que allò que ell volia saber era el període entre dues ocultacions successives, el seu oncle va exclamar: Això que tu vols no es pas el dia sideri. Això es diu dia estel·lar, el qual té una duració de 23 hores 56 minuts 4.09895 seg. de temps oficial. Hi ha doncs una diferència entre el temps estel·lar i el temps sideri que jo t'havia donat de 0.00841 segons cada dia (de 24 hores oficials), la qual cosa equival a 3.0724 segons cada any. Era evident que la primera ve-

gada no s'havien entès.

§ 12 EN PERE DESCOBREIX LA PRECESSIÓ DELS EQUINOCIS

En Pere estava desesperat doncs tot el què havia fet estava malament. Podia optar entre repetir totes les experiències de nou o bé pensar, basant-se en les experiències fetes, quines conseqüències es derivarien de l'error que havia fet. Va optar per això segon.

Per a mesurar les ascensions rectes havia utilitzat el temps sideri, que ell no sabia ben bé el que era, per comptes del temps estel·lar que era el que hauria fet si el seu oncle no l'hagués enredat. Una hora de temps estel·lar és més llarga que una hora de temps sideri. Si per a mesurar les ascensions rectes del sol hagués utilitzat hores estel·lars per comptes d'hores sidèrees, què hagués passat? Si un mateix fenomen es mesura amb unitats més grosses, les mesures que dóna resulten ser més petites. Per tant, en mesurar les ascensions rectes del sol, utilitzant hores estel·lars, hauria trobat valors més petits. En situar les diverses observacions del sol a l'esfera celeste, hagués trobat altres punts diferents dels obtinguts, perquè les coordenades estaven equivocades. Però si ell, utilitzant els punts equivocats, havia trobat, unint aquests punts, que el sol descrivia un cercle màxim anomenat eclíptica, si hagués utilitzat els punts correctes donats per les coordenades mesurades correctament, la trajectòria del sol sobre l'esfera celeste deixaria de ser un cercle màxim. Ni tan sols un cercle. L'eclíptica no tancaria. Cada volta tallaria l'equador una mica abans. Quan abans? Doncs 3.0724 segons (de temps oficial) que és la diferència, en un any, entre el temps estel·lar que hauria d'haver utilitzat i el temps sideri que va uti-

litzar per error. Es a dir, cada any el punt γ correria sobre l'equador un petit arc corresponent a aquests 3.0724 segons de temps i en 28.000 anys aproximadament donaria una volta completa a l'equador (resultat de dividir 24 hores, que és una volta completa, per 3.0724 segons).

§ 13 DIALEG ENTRE EN PERE I EL SEU ONCLE

PERE .- La dada que em vas donar equivocada m'ha portat molts problemes. Encara no entenc això del temps sideri. Jo no el necessitava pas per a res aquest temps. De totes maneres he descobert que la trajectòria del sol a l'esfera celeste no està continguda en un pla. El sol descriu com una mena de cercle màxim que no acaba de tancar. A cada volta, la intersecció amb l'equador -allò que tu anomenes punt γ - es produeix una mica abans. He calculat que el punt γ fa una volta completa a l'equador celeste amb 28.000 anys aproximadament.

ONCLE .- Tens raó amb tot el que dius, llevat dels 28.000 anys. Nosal - tres, els astrònoms, hem calculat que el punt γ donarà una volta a l'equador amb 26.000 anys.

PERE .- No m'ho crec. El meu raonament és simple. He dividit 24 hores, que és tot l'arc de l'equador comptat en hores, per 3.0724 segons, que és el que es mou el punt γ cada any, i això em dona 28.131 anys.

ONCLE .- Però nosaltres sabem que el moviment del punt γ sobre l'eclíptica no és uniforme. No ho pots pas fer per una regla de tres. Les coses són més complicades.

PERE .- Encara no acabo d'entendre què és el temps sideri i per què m'el vas mencionar. Només ha servit per a enredar-me i embolicar-me. El temps estel·lar és natural. El vaig inventar jo mateix. Però el temps sideri...!

ONCLE .- Un dia estel·lar és l'interval de temps entre dues ocultacions successives d'una mateixa estrella per una paret. En canvi un dia sideri és l'interval de temps entre dues ocultacions successives del punt γ per una paret. El punt γ és un punt ben determinat de la volta celeste. El què passa és que es mou molt lentament respecte les estrelles fixes.

PERE .- Seria molt més fàcil tot si hom oblidés el temps sideri i treballés amb temps estel·lar.

ONCLE .- Tots els astrònoms fem servir el temps sideri per a mesurar les ascensions rectes dels estels i de tots els astres.

PERE .- Ah si? ... Així, les ascensions rectes de les estrelles fixes van variant cada any?

ONCLE .- Si, així és.

PERE .- Els astrònoms professionals esteu tots boigs!!!

ONCLE .- Qualsevol estrella que haguessis triat com a referència per a mesurar el "temps estel·lar", a la llarga, també t'hagués creat problemes. No hi ha "estrelles fixes". Amb els anys, (a vegades amb molts anys) totes les estrelles van canviant llurs posicions.

Abril del 1983