

L'astronomia a les aules

Manual didàctic per a educació primària
i secundària

Autors: Carme Jordi i Robert Estalella

Data: Desembre 2008



Pròleg

L'any 1609 Galileu Galilei apuntà per primer cop un telescopi cap al cel. Va ser el començament de 400 anys de descobriments astronòmics que encara continuen. El 27 d'octubre de 2006 la Unió Astronòmica Internacional va anunciar la declaració per la UNESCO del 2009 com a Any Internacional de l'Astronomia - International Year of Astronomy (AIA-IYA2009), ratificada per l'ONU el 19 de desembre de 2007.

L'Any Internacional de l'Astronomia AIA-IYA2009 representarà una celebració global de l'Astronomia i de la seva contribució a la societat, a la cultura, i al desenvolupament de la humanitat. El seu principal objectiu és motivar els ciutadans d'arreu del món a replantejar-se el seu lloc a l'univers a través de tot un camí de descobriments que es va iniciar ara fa 400 anys. Les activitats repartides per tot el globus terraquí pretendran estimular l'interès per l'astronomia i la ciència en general; des de la seva influència en les nostres vides diàries fins a com el coneixement científic pot contribuir a un món més lliure i igualitari.

En particular, un dels objectius de l'AIA-IYA2009 és donar suport i millorar l'educació en ciències. Aquest objectiu va motivar que des del Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona, els professors Carme Jordi Nebot i Robert Estalella Boadella duguessin a terme la tasca de recopilar material i editar el dossier que teniu entre les mans: "L'astronomia a les aules - Manual didàctic per a educació primària i secundària". Malgrat que les pràctiques que s'hi proposen no són completament noves, s'hi han introduït algunes novetats, recursos de web i treball d'ampliació com a recurs per als professors. Aquest material, en gran part per primer cop en format electrònic, és disponible a la pàgina web www.astronomia2009.cat. Els quatre primers capítols estan destinats a alumnes de primària, i inclouen l'estudi del Sol, la Lluna, el Sistema Solar i les Constel·lacions. Els tres darrers capítols són pensats per alumnes de secundària, i tracten sobre l'Esfera celest i l'observació a ull nu, el Sol i la Gravitació. Esperem que us siguin útils!

Marc Ribó Gomis (responsable del projecte FCT-08-0544).

Agraïments

Aquest manual està basat, en part, en material publicat, ressenyat a la bibliografia, on han col·laborat altres coautors: S. Cid, E. García-Luengo, M. Molins, M. Muntané, M.C. Padullés, R.M. Ros, G. Rosselló, B. Sanahuja i M. Trabal.

Agraïm el material gràfic proporcionat per M.C. Padullés, R.M. Ros i M. Trabal. Agraïm també les contribucions de V. Gómez i J.M. Carrasco.

La realització i impressió d'aquest dossier ha estat possible gràcies al projecte de la "Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología" (FECyT) que porta per títol "Actividades preparatorias del AIA-IYA2009 en la Universidad de Barcelona", amb referència FCT-08-0544.

La distribució d'aquest dossier ha estat possible gràcies a la col·laboració del Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya.

Índex

	Pàgina
Primària	
Sol.....	5
Lluna.....	13
Sistema Solar.....	21
Constel·lacions.....	27
Secundària	
L'esfera celest i l'observació a ull nu.....	37
El Sol i l'energia solar.....	61
Gravitació.....	73
Bibliografia.....	85

SOL

AMB ELS PETITS

Motivació

Als petits els costa relacionar l'ombra d'un pal amb la posició del Sol. Per això, creiem que l'estudi del gnómon ha de limitar-se als més grans. Amb els petits farem un treball més directe, amb les seves ombres, perquè s'adonin del moviment diürn del Sol.

Objectius

- Descobrir l'ombra i jugar amb ella per descobrir les seves peculiaritats.
- Constatar com l'ombra d'un nen es desplaça, s'allarga o s'escurça al llarg del dia.
- Deducir que això està relacionat amb la llum del Sol i que l'ombra es desplaça perquè aquest es mou.
- Representar aquest moviment en un dibuix de l'horitzó (el que veiem des del pati de l'escola).

Treball amb l'ombra

Perquè descobreixin l'ombra, primer han de tocar-la i repassar el seu perfil, perquè no tots es fixen en ella. Després, els proposarem jugar a fer que balli, tapar petits objectes amb l'extrem de l'ombra, trepitjar la dels companys, fer-la desaparèixer, separar-la dels peus, etc.



Fig. 1. - Tocant l'ombra amb la ma.



Fig. 2.- Trepitjant l'ombra dels companys de classe.



Fig. 3.- Dibuixant l'ombra: l'ombra està al costat equivocat, i no toca els peus de la nena.



Fig. 4.- Dibuixant l'ombra: l'ombra té la bona direcció i està unida als peus del nen.

Si volem observar les variacions en l'ombra d'un nen o una nena, prèviament haurem de marcar amb un senyal la seva posició (l'observació hi ha de fer-se cada vegada amb la mateixa persona i al mateix lloc). Quan s'hagi situat en el senyal, marcarem les vores del cap de l'ombra. És millor fer-ho a la tarda, perquè com el Sol ja està baixant, les diferències de llargada s'aprecien millor.

Als nens els costa molt trobar una relació entre l'ombra i la llum del Sol. Si comparem l'ombra de la tarda amb la del matí (per, exemple, al matí següent), es fa evident que alguna cosa ha canviat, i haurem de buscar-ne la causa.



Fig. 5.- Preparació per registrar la variació de l'ombra al llarg del dia.



Fig. 6.- L'ombra ha canviat de llargada i direcció: el Sol s'ha desplaçat.

El moviment del sol

Precaució! S'ha d'advertir als nens que no es pot mirar fixament el Sol, perquè es corre el risc de sofrir greus lesions als ulls.

Si fem un dibuix simplificat de l'horitzó que veiem des del pati de l'escola, podrem determinar la posició del Sol almenys en dos moments del dia: al matí i a la tarda. N'hi ha prou amb això perquè cada matí sàpiguen que serà en un costat del pati i que a la tarda estarà en un altre lloc, i per a que puguin deduir, d'aquesta manera, la seva trajectòria. A l'aula representarem aquest moviment sobre el dibuix de l'horitzó com a conclusió del treball sobre el Sol.

Amb els nens grans podem utilitzar el dibuix de l'horitzó per representar diversos recorreguts aparents del Sol segons les estacions de l'any. Podem constatar que els punts de sortida i posta del Sol, o que la llargada del camí recorregut pel Sol, varien durant l'any.

AMB ELS GRANS

Motivació

Es pot introduir els alumnes en aquest tema de moltes i diverses maneres, per exemple, llençant la pregunta: hi ha ombra al migdia? per obrir un debat, o bé, calculant la relació alçada-ombra i comprovant que per a tots és igual, o fins i tot, amb una mica d'història, explicant-los que l'orientació de l'entrada de les piràmides d'Egipte és molt precisa, ja els antics s'interessaven per l'Astronomia.

Objectius generals

- Aprendre que la llargada de l'ombra d'un pal (gnòmon) depèn de la posició del Sol.
- Reconèixer que el migdia vertader és quan l'ombra és més curta i assenjala la direcció de la meridiana (Nord-Sud).
- Trobar una aplicació pràctica de l'experiència realitzada en la construcció del rellotge de Sol.

Objectius concrets

A més, en finalitzar el tema, s'haurà experimentat que:

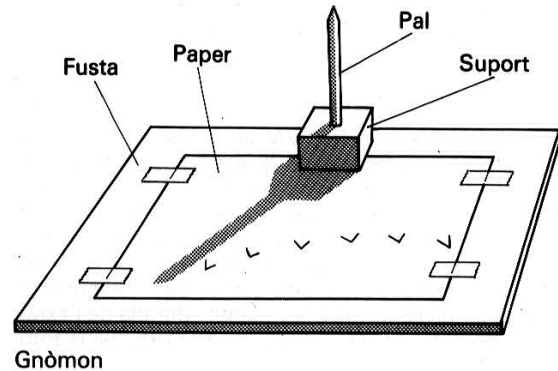
- Les conclusions sobre l'ombra que es dedueixen són independents de la situació del pal.
- A l'hivern el Sol va més baix i per tant les ombres són més llargues, mentre que a l'estiu el Sol va més alt i per tant les ombres són més curtes.
- El dibuix que fa l'extrem de l'ombra varia a cada estació.

CONSTRUCCIÓ I UTILITZACIÓ DEL GNÒMON

Gnòmon petit, per treballar en petits grups

Material

- Fullola d'una grandària aproximada de 30 cm per 40 cm.
- Un test (torreta) petit, aïllador de porcellana o qualsevol altre suport.
- Llapis o pal de fusta afilat d'uns 10 cm de llargada.
- Paper mil·limetrat.



Realització

Munteu el pal en el suport de manera que quedi aproximadament vertical i poseu-lo damunt de la fusta, que haureu posat plana al terra. Enganxeu-hi un full de paper i ja podeu marcar l'extrem de l'ombra del pal sobre el paper. Anoteu-hi també l'hora. Hem de realitzar l'experiència en un lloc on hi hagi sol, tenint en compte que res no ens faci ombra durant l'experiment. Vigileu la posició del gnòmon sobre el paper per tal que l'ombra no vagi a parar fora. Feu que cada grup de tres o quatre nens treballi amb un gnòmon diferent situat en un lloc diferent per a constatar la independència de la situació en les conclusions.

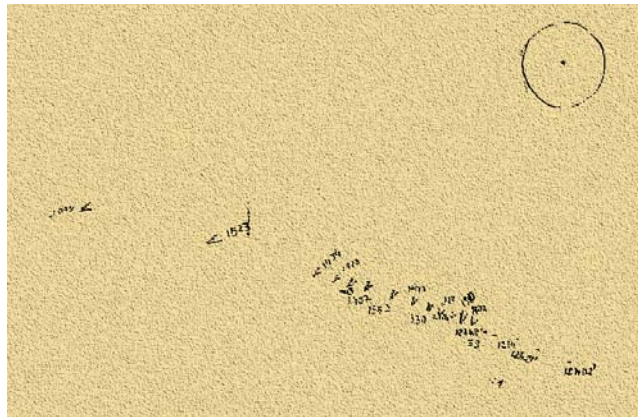


Fig. 7.- El gnòmon en funcionament. Fig. 8.- Registre d'unes quatre hores de la posició de l'ombra. S'ha anat marcant l'extrem de l'ombra.

Per poder repetir l'experiència un altre dia, cal marcar l'orientació del paper (per tant de la fusta) agafant una referència (una ratlla al terra, una paret, etc.). Un primer dia s'intentarà obtenir un registre de l'ombra del matí i de la tarda. (Es pot fer, en cas necessari, una tarda i el matí següent.) Al començament, es pot marcar l'ombra cada pocs minuts, per visualitzar el seu moviment. Després, es

pot marcar més o menys cada hora, aprofitant, per exemple, els canvis de classe.

Gnòmon gran, per treballar tots alhora

En lloc de treballar l'ombra del pal individualment o en petits grups, també es pot fer amb tots els nens alhora, plantant un pal llarg al mig del pati (o fent servir un pal existent) i marcant l'extrem de l'ombra amb guix o fent marques al terra. La llargada de l'ombra es pot amidar tibant un cordill des de la base del pal.

Ombra més curta, migdia vertader i direcció de la meridiana

A partir de les mesures recollides es farà un gràfic (p. ex. sobre paper mil·limetrat), posant el temps en abscisses i la llargada de l'ombra en ordenades. Es localitza sobre el gràfic l'instant de l'ombra més curta, i sobre el paper del registre, la direcció que tenia l'ombra en aquest instant. La direcció que s'ha obtingut, per exemple, al pati de l'escola, es materialitza amb un cordill d'extrem a extrem del pati, i es pot deixar marcada.

Una altra forma de fer-ho sobre el mateix paper és traçar la bisectriu de l'angle format per dos punts, un al matí i un altre a la tarda, en què la llargada de l'ombra és la mateixa. Per fer-ho, anoteu una ombra al matí i traceu, amb l'ajuda d'un compas, o d'un cordill per al gnòmon gran, un cercle de radi igual a la llargada de l'ombra en aquell moment. A la tarda, marqueu la posició de l'ombra quan torna a tenir la mateixa llargada (és a dir, quan torna a estar sobre la circumferència traçada) i anoteu l'hora. La bisectriu de les dues direccions (la del matí i la de la tarda) és la direcció de la meridiana. La bisectriu la podeu dibuixar fent servir de nou el compàs (o el cordill). Convé que marqueu al terra, de forma permanent, la direcció trobada. El migdia vertader el podeu trobar fent la mitjana de les dues hores (la del matí i la de la tarda) que heu anotat.



Fig. 9.- Construcció del rellotge de sol equatorial, en cartolina o fusta.

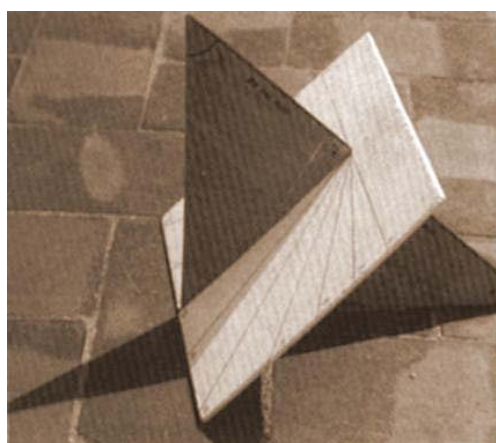


Fig. 10.- Rellotge de sol equatorial, orientat cap al nord. La cara il·luminada és la de primavera-estiu.

L'instant obtingut es compara amb el migdia vertader, calculat fent la mitjana de l'hora de sortida i de posta de sol per a aquell dia. (Es pot treure del Calendari

del Pagès o del diari). Hauria de sortir la mateixa hora. Un dia posterior, es marca la direcció de l'ombra al migdia vertader (que s'haurà d'haver calculat abans) i es comprova que surt la mateixa direcció.

Moviment anual del Sol

Si es pot repetir el seguiment del Sol al cap d'un temps (una setmana com a mínim) es veurà que ha canviat la llargada de totes les ombres. El Sol va més alt o més baix, depenent de si estem a la primavera o a la tardor. L'efecte és més fàcil de veure si estem a prop dels equinoccis (començament de la tardor o de la primavera) i més difícil si estem a prop dels solsticis (començament de l'hivern o de l'estiu).

CONSTRUCCIÓ I UTILITZACIÓ DE RELLOTGES DE SOL

Descripció

El rellotge de més simple és l'equatorial. Es pot fer en cartolina o també en fusta, per exemple fullola.

Les mides dels dibuixos estan donades en forma de proporcions, agafant el radi del cercle com a unitat. En dibuixar-los sobre cartolina es pot agafar la unitat de 10 cm. Una altra possibilitat més ràpida i senzilla és enganxar una fotocòpia ampliada directament sobre cartolina. Retalleu i enganxeu.

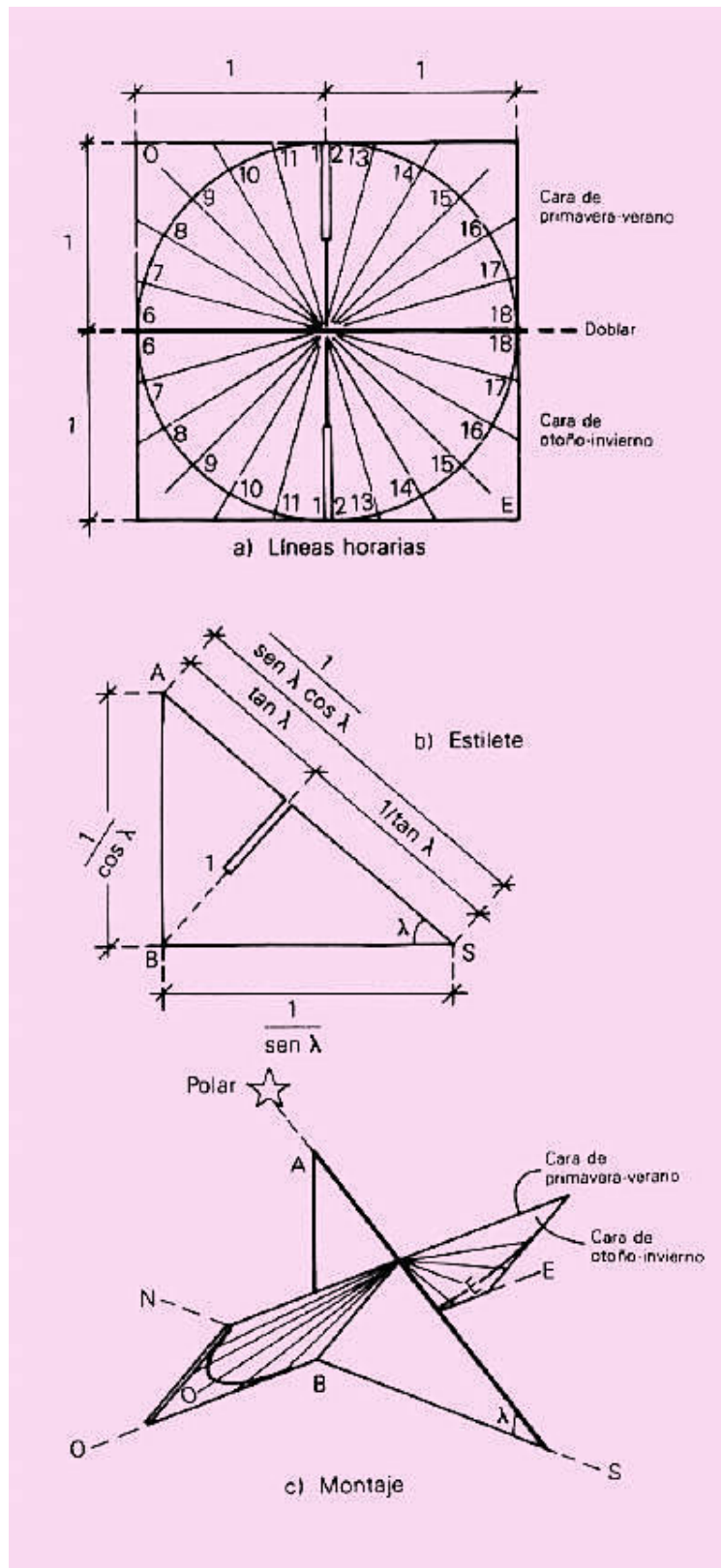
Una vegada fet el rellotge, s'ha de posar sobre un lloc pla i ben orientat segons la meridiana que hem trobat abans o amb l'ajuda d'una brúixola.

Funcionament

S'ha d'entendre simplement que l'estilet (la vora del triangle del rellotge l'equatorial) té la direcció de l'eix de la Terra i que per tant el Sol dona una volta sencera (és a dir, 360 graus) al voltant de l'estilet en un dia. Per tant, cada hora el Sol gira al voltant de l'estilet $360 \text{ graus} / 24 \text{ h} = 15 \text{ graus}$.

MATERIAL COMPLEMENTARI

Fig. 11.- Esquema per construir un rellotge de sol equatorial. La latitud del lloc, λ , val uns 41° per a Catalunya.



LLUNA

AMB ELS PETITS

Els objectius que ens proposarem amb els més petits no seran els mateixos que amb els grans, com tampoc ho serà la forma de realitzar les activitats, perquè hem de tenir en compte les característiques de cada edat. Alguns aspectes que convé tenir en compte són:

- És possible que no hagin assimilat bé el concepte de dreta-esquerra, pel que hauríem d'evitar que donin la volta als dibuixos de la Lluna.
- Els resulta molt difícil mantenir l'interès per una activitat durant molt temps.
- Encara tenen problemes amb el traç. Per tant, hauríem de facilitar-los la tasca de dibuixar i ajudar-los fent-lo amb ells.

Objectius

- Descobrir la Lluna com un astre amb característiques molt peculiars:
 - La forma que ens presenta canvia.
 - Podem veure-la en diferents moments del dia o de la nit.
 - La trobem en diferents posicions en el cel.
- Observar que les seves fases es van repetint (és un cicle).

Treball amb la Lluna

El treball que proposem es basa en l'observació diària de la Lluna. Les primeres observacions és convenient fer-les en grup (a la tarda, si la fase és creixent, o al matí, si és minvant) perquè així cridarem a tots l'atenció sobre el que ens interessi, i els comentaris els ajudaran a recordar el que han vist.

Ens interessa tenir registrades un mínim d'observacions perquè els nens puguin comparar-les. Podem fer les primeres anotacions en una tira llarga plegada com un ventall. Això ens garanteix que el nen sempre podrà tenir davant els dibuixos de les observacions sense que es desordenin i sense invertir-los. Podem fer aquesta tira amb paper d'embalar blanc. Traçarem un cercle (a llapis) per facilitar el traç. Els nens haurien d'esborrar la part de la Lluna que no han vist i pintar el "cel".

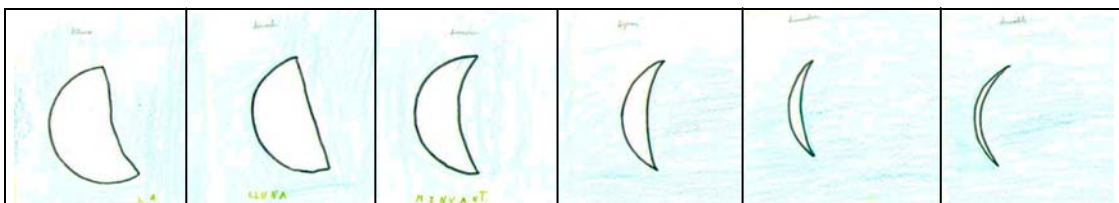


Fig. 1.- Registre de 6 dies d'observació de la Lluna, des de quart minvant fins a nova.

Arribat el moment d'observar-la, o a l'aula, abans de dibuixar-la, comentarem la seva forma, la seva grandària, el moment en què l'hem vist i si es troba en la mateixa posició que les altres vegades. Al costat del dibuix, anotarem el dia i el

moment que l'hem vist (matí, tarda o nit). Seguirem fent junts les observacions mentre sigui possible, i després les faran sols, intentant "caçar" la Lluna (buscar-la sense saber ni on ni quan la trobaran). Quan les observacions es realitzin fora de l'escola, 3 o 4 nens seran els encarregats de mirar la Lluna. Així sempre haurà algú que l'hagi vist i les observacions seran més fiables, perquè abans de dibuixar la Lluna haurien de posar-se d'acord entre ells.

Es pot seguir fent fins que el cicle torni a començar. Si anem col·locant uns sota els altres els dibuixos que es repeteixen, podrem observar que les fases presenten una variació lògica (creixent-decreixent) i cíclica. No és cap problema que alguns dies no l'haguem dibuixat. Només hem de col·locar un paper en blanc aquests dies, perquè la progressió no deixi d'evidenciar-se.

AMB ELS GRANS

Continguts

- Observació i experimentació amb les fases de la Lluna.
- Explicació dels eclipsis amb un model a escala Terra-Lluna.

Objectiu general

- Que el nen aprengui a reconèixer les fases de la Lluna, conegui la durada del cicle de la Lluna i relacioni la fase de la Lluna amb la posició d'aquesta relativa al Sol.
- Que el nen entengui el que significa un eclipsi de Lluna i de Sol i per què no es produeixen eclipsis cada mes.

SEGUIMENT D'UN CICLE DE LA LLUNA

Objectius concrets

- Posar de manifest que la Lluna cada dia experimenta un retard aproximadament d'una hora i es desplaça respecte al Sol cap a llevant.
- La Lluna en fase creixent es veu a la tarda i al vespre cap a l'Oest.
- La Lluna plena surt per l'Est al vespre i a mitja nit està alta.
- La Lluna minvant es veu de matinada cap a l'est i al matí.
- Al cap d'un mes (aproximadament) es torna a repetir el cicle.
- Al final, el nen hauria de ser capaç de reconèixer, per exemple:



Lluna creixent, visible al vespre cap a ponent.



Lluna en quart creixent, alta sobre l'horitzó a! vespre.



Lluna minvant, de matinada cap a llevant.

Descripció

Per conèixer el cicle complet s'haurà de "caçar" la Lluna cada dia, durant aproximadament un mes.

"Caçar" la Lluna vol dir: dibuixar la forma que té i el lloc on la veiem en el cel (tenint en compte l'altura sobre l'horitzó i la direcció en què es troba). És important fer la ratlla de l'horitzó i dibuixar alguna referència (un edifici alt, un arbre, el lloc aproximat per on surt o s'amaga el Sol, etc...). Cal anotar la data, l'hora i, si és possible, la posició del Sol en el moment de l'observació. S'ha de mesurar l'altura de la Lluna sobre l'horitzó i la separació entre la Lluna i el Sol. Es pot fer prenent com a unitat el puny, mesurat posant el braç estirat (vegeu la "Nota sobre la mesura d'angles" al final del capítol).

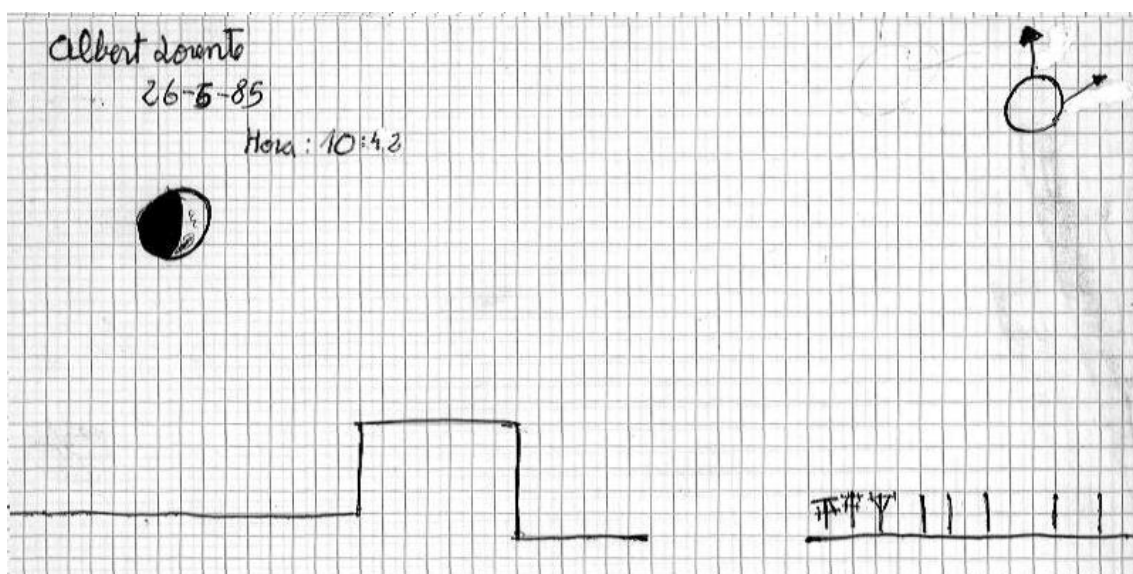


Fig. 2.- Dibuix de la Lluna, amb indicació del dia i hora, fase i posició respecte a un edifici de l'horitzó.

És aconsellable començar aquest seguiment quan la Lluna està creixent perquè així la primera observació la podem fer a l'escola, a la tarda, amb tots els nois i els explicarem com s'ha de fer. Si la lluna està minvant, es pot fer al matí.

Aquí us presentem una manera d'organitzar aquest seguiment del cicle de la Lluna:

- Primer, cada nen dibuixarà esquemàticament, la línia de l'horitzó que es veu des del terrat o finestra de casa seva. Si la panoràmica és molt gran potser serà necessari fer-ho en dos fulls enganxats. Després, a l'escola, traslladarem aquest dibuix a set fitxes com la que s'ensenya. Advertirem que cal deixar la meitat de dalt del full en blanc, perquè així tindran lloc per a posar la Lluna amb les mides i altres anotacions.
- Per començar demanarem als alumnes que, aquell dia, mirin si es veu la Lluna des del terrat (o finestra) de casa seva. Les hores per fer-ho seran des que arriben a casa seva a la tarda fins que se'n van a dormir (la podran veure a aquestes hores si la Lluna està creixent o plena) o des

que s'aixequen fins que van a l'escola (si està minvant). L'endemà, aquells nois que diguin que l'han vista formaran el primer grup. Observaran i prendran les dades individualment, però sols ho faran una part dels alumnes.

- Quan hàgim reunit els set fulls de tots els nois del grup podrem estudiar-los conjuntament amb tota la classe (si hem tingut la sort que no hagi estat núvol tots els dies). És important treballar amb una sèrie de dibuixos on hi hagi indicat el lloc de sortida o posta del Sol per comparar la relació entre la fase i la posició relativa de la Lluna i el Sol.
- Es repeteix el mateix procés per part de cada grup i, al final, traurem les conclusions definitives.

Informació complementària

Podeu trobar l'hora de sortida i de posta de la Lluna per cada dia al Calendari del Pagès. Tingueu en compte si l'hora que hi posa correspon al matí o a la tarda i recordeu que per tenir l'hora oficial, cal sumar-hi una hora a l'hivern i dues a l'estiu. Les fases, les podeu trobar a molts calendaris.

MAQUETA DEL SISTEMA TERRA-LLUNA

Material

- Una bola de suro de 1 cm de diàmetre, o una mica de plastilina blanca (Lluna).
- Una bola de suro de 4 cm de diàmetre (Terra).
- Un llistó de fusta de 120 cm de llargada.
- Dos claus que travessin tot el llistó.



Maqueta del sistema Terra-Lluna



Fig. 3.- Maqueta del sistema Terra-lluna, a punt per ser utilitzada.

Construcció

Es claven les dues boles als extrems del llistó, de forma que quedin una mica aixecades de la fusta. La bola de suro de 1 cm pot ser difícil de trobar (és molt petita). Es pot substituir per una bola de plastilina o de guix. També es poden fer tots els elements més grans (p. ex., Lluna de 1,5 cm, Terra de 6 cm i llistó de 180 cm). Convé que la bola de la Lluna sigui d'un color clar i mate. El llistó, sobre tot prop de la Lluna, convé que reflecteixi poc la llum (de color negre).

REPRODUCCIÓ DE LES FASES DE LA LLUNA

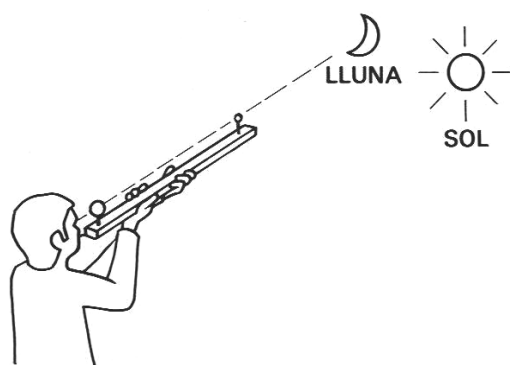
Descripció

En un lloc amb sol, quan es vegi la Lluna (al matí, en quart minvant, o a la tarda, en quart creixent), s'apunta el pal cap a la Lluna, amb la bola de la Lluna cap endavant. Es mira la bola de la Lluna, il·luminada pel Sol, des de la bola de la Terra. La bola de la Lluna es veu de la mateixa grandària aparent que la Lluna de veritat, i en la mateixa fase. Variant l'orientació del pal, s'aconsegueix reproduir les diferents fases de la Lluna en variar la il·luminació del Sol.

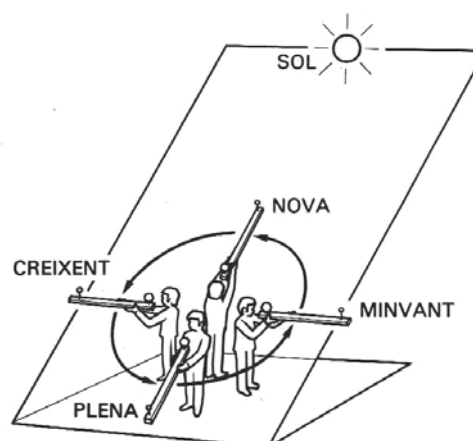
Convé moure la Lluna de dreta a esquerra, de forma que s'aconsegueixi la seqüència correcta de les fases (creixent, plena, minvant).



Fig. 4.- La bola de la lluna es veu de la mateixa grandària i en la mateixa fase que la Lluna de veritat.



Apuntant el llistó cap a la Lluna.



Reproduint les fases de la Lluna.

Objectius

- Visualitzar correctament les proporcions del sistema Terra-Lluna. La Lluna i la Terra són de grandàries no massa diferents, i estan situades a gran distància l'una de l'altra.
- Veure com les fases de la Lluna són un efecte de la il·luminació del Sol i com depenen de la posició relativa de la Lluna i el Sol.

Durada, lloc

L'observació dura poca estona un sol dia. Cal que faci sol i és millor fer-ho quan es veu simultàniament la Lluna. Si no es pot fer així, també es pot fer a dintre la classe fent llum amb una lot o amb un retroprojector.

ECLIPSIS

Descripció

Es fa servir el model Terra-Lluna per reproduir eclipsis. Aguantant el pal de forma que apunti cap al Sol (però sense mirar cap al Sol!) i fent que l'ombra de la Lluna caigui sobre la bola de la Terra, s'aconsegueix visualitzar un eclipsi de Sol. Es veu com l'ombra de la Lluna fa una petita taca sobre una regió de la Terra.

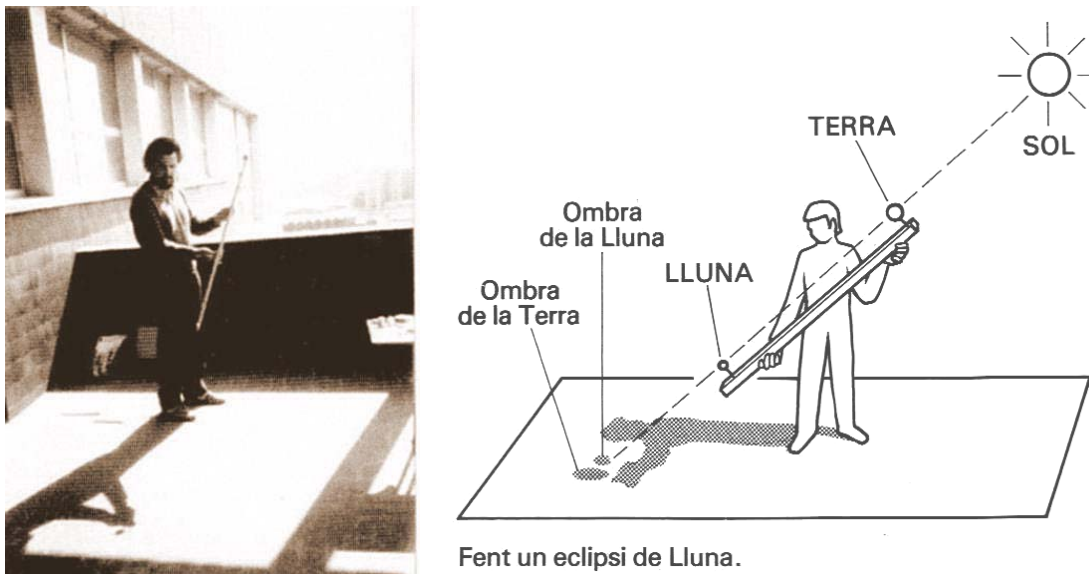


Fig. 5.- Per fer servir el model Terra-Lluna per reproduir eclipsis s'han d'alinejar les boles de la Terra i la Lluna amb el Sol: les ombres de les dues boles han de coincidir.

A la inversa, es pot fer entrar la Lluna dintre de l'ombra de la Terra, molt més gran que la Lluna, aconseguint un eclipsi de Lluna.

És fàcil adonar-se que cal alinear molt bé la Terra i la Lluna perquè hi hagi un eclipsi.

Objectius concrets

Entendre què són els eclipsis de Sol i de Lluna.

Només pot haver-hi un eclipsi de Lluna quan és Lluna plena i un eclipsi de Sol quan és Lluna nova.

Entendre que un eclipsi de Sol només es veu des d'una regió petita de la Terra, a diferència d'un eclipsi de Lluna.

Entendre que és molt difícil que la Terra i la Lluna estiguin tan ben alineades com perquè es produeixi un eclipsi cada vegada que és Lluna plena o nova.

Durada, lloc

L'observació dura poca estona un sol dia. Només cal que faci sol. Es pot fer també a dintre la classe fent llum amb una lot o un retroprojector, però és molt millor fer-ho amb el Sol.



Fig. 6.- Fent un eclipsi de Sol. Fixeu-vos en l'ombra de la Lluna sobre la bola de la Terra: és des d'on pot veure l'eclipsi de Sol.

Precaucions

No deixeu que els nens mirin directament el Sol. Pot causar lesions greus als ulls.

Nota sobre la mesura d'angles

Les grandàries i distàncies sobre el cel són en realitat angles i per tant s'hauria de parlar de "grandària angular" i "distància angular". (Per exemple, la

grandària angular de la Lluna és de $0,5^\circ$, la separació angular màxima entre Venus i el Sol és de 46°). Això no obstant, durant la bàsica els nens no acostumen a adquirir una noció d'angle com a quocient entre dues distàncies, cosa que faran més endavant quan vegin trigonometria. És per això que els resulta difícil entendre el concepte de grandària angular.

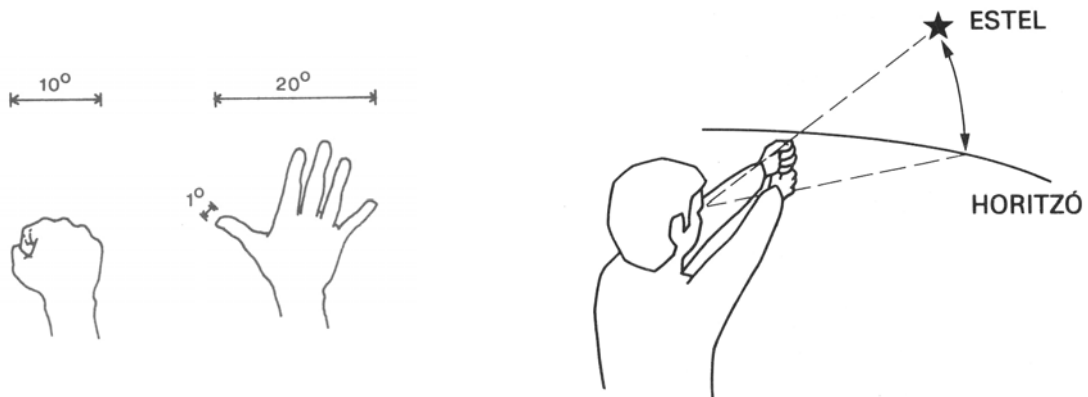


Fig. 7.- "Punys", "pams" i "dits" per mesurar grandàries aparents. Fig. 8.- Mesura en "punys" de l'altura d'un estel sobre l'horitzó.

Per tant, és millor parlar simplement de grandària aparent, sense fer esment que es tracta d'un angle. Per mesurar i comparar grandàries aparents, una manera útil de fer-ho és fer servir "punys", "pams" o "dits", que s'obtenen amb el braç estirat, i són prou semblants per a totes les persones, nens i grans (els nens tenen la ma més petita, però el braç més curt, i el quocient és més o menys igual). Un puny amb el braç estirat té una grandària angular aproximada de 1° ; un pam, uns 20° ; la punta del dit índex, més o menys 1° . Per exemple, la grandària aparent de la Lluna és de mig "dit". La grandària del cullerot de l'Óssa Major és més o menys d'un "puny", i la distància entre l'Óssa Major i la Polar és d'un "pam" i mig.

SISTEMA SOLAR

Objectiu general

- Aconseguir una visió globalitzada de la magnitud del sistema solar. Per això, es tindrà en compte la relació entre el diàmetre dels planetes i la seva distància al Sol.
- Reconèixer els planetes per la seva posició o distància al Sol, per la seva mida, o bé pel seu color o aparença.
- Introduir noves unitats de distància: grandària de la Terra, distància Terra-Sol, i maneig de les proporcions.

Grandàries i distàncies al Sistema Solar

	Diàmetre		Distància al Sol		
	(Terra=1)	(km)	(Terra-Sol=1)	(milions de km)	(temps llum)
Sol	109,05	1 397 000			
Mercuri	0,38	4 800	0,39	58	3 min
Venus	0,95	12 100	0,72	108	6 min
Terra	1,00	12 800	1,00	150	8 min
Mart	0,53	6 800	1,52	227	13 min
Júpiter	11,20	142 900	5,20	778	43 min
Saturn	9,41	120 000	9,55	1429	1 h 20 min
Urà	3,88	49 500	19,22	2875	2 h 40 min
Neptú	3,81	48 600	30,11	4504	4 h 10 min

MAQUETA DEL SISTEMA SOLAR

Objectiu

Intentar presentar el sistema solar, mantenint la proporció correcta entre grandàries i distàncies. Els nens s'han d'adonar que les distàncies entre els planetes són molt grans comparades amb les seves grandàries. El tema es presta a fer treballar proporcions.

Dificultats

Si volem que els planetes siguin una mica grossos, surten a distàncies molt grans. Normalment, només podem representar la part interior del sistema solar. A partir de Mart, les distàncies són massa grans per poder-les representar realment.

Material

- Boles i pilotes de totes mides. Per a aquesta proposta concreta, una pilota de bàsquet, dues de ping-pong, dues bales petites, agulles de cap petit i de cap gros.
- Una cinta mètrica llarga, o un cordill amb marques cada 10 m.



Fig. 1.- Boles per fer la maqueta del sistema solar. La pilota de bàsquet representa el Sol.

Lloc

Al pati de l'escola o un lloc a l'aire lliure.

Representació

Els nens poden calcular les proporcions correctes i buscar quina bola representa millor la grandària trobada. Si fem servir una pilota de bàsquet (25 cm) per representar el Sol, l'escala de la maqueta serà 25 cm: 1 397 000 km. En aquesta escala, les mides de la maqueta són:

	Diàmetre	Objecte	Distància al Sol
Sol	25 cm	Pilota de bàsquet	
Mercuri	1 mm	Agulla de cap petit	10 m
Venus	2 mm	Agulla de cap gros	19 m
Terra	2,5 mm	Agulla de cap gros	27 m
Mart	1 mm	Agulla de cap petit	41 m
Júpiter	2,5 cm	Pilota de ping-pong	140 m
Saturn	2 cm	Pilota de ping-pong	250 m

Urà	1 cm	Bala petita	500 m
Neptú	1 cm	Bala petita	800 m

Si voleu afegir la Lluna, s'ha de representar amb una agulla de cap petit (0,6 mm), situada a 7 cm de la Terra. A aquesta escala, a quina distància estaria l'estel més proper al Sol, Proxima Centauri? La resposta és uns 7000 km, realment molt lluny!

REPRESENTACIÓ DE LES DISTÀNCIES

Objectiu

Representar en un mural les distàncies entre els planetes al sistema solar.

Material

- Cartolina o paper d'embalar
- Tisores, un cordill, retolador, cinta adhesiva

Construcció

S'agafa una tira de paper d'embalar d'uns 5 m, o la mida que hi càpiga a la paret de l'aula. Si es fa amb cartolina, cal tallar-la a tires i enganxar-les una a continuació de l'altra fins aconseguir una tira llarga (vegeu la figura de la dreta).

Comencem posant el Sol a prop d'un extrem del paper. Fent servir el cordill com a compàs, podem traçar un arc que representa l'òrbita de cada planeta. Posarem el nom del planeta (els planetes són com punts, més petits que la punta del retolador!). També s'hi pot indicar la distància real fins al Sol i el temps que tarda la llum del Sol a arribar-hi. Per exemple, si s'agafa una escala de 1 cm per cada 10 milions de quilòmetres, les distàncies sobre la tira de cartolina queden així:



Mercuri	Venus	Terra	Mart	Júpiter	Saturn	Urà	Neptú
6 cm	11 cm	15 cm	23 cm	78 cm	143 cm	288 cm	450 cm

Feu notar que, en aquesta escala, el Sol té poc més d'1 mm de diàmetre i els planetes queden només com a puntets sense cap dimensió.

REPRESENTACIÓ DE LES GRANDÀRIES

Objectiu

Construir un mural per penjar a l'aula per tal de comparar la mida relativa del Sol i dels planetes.

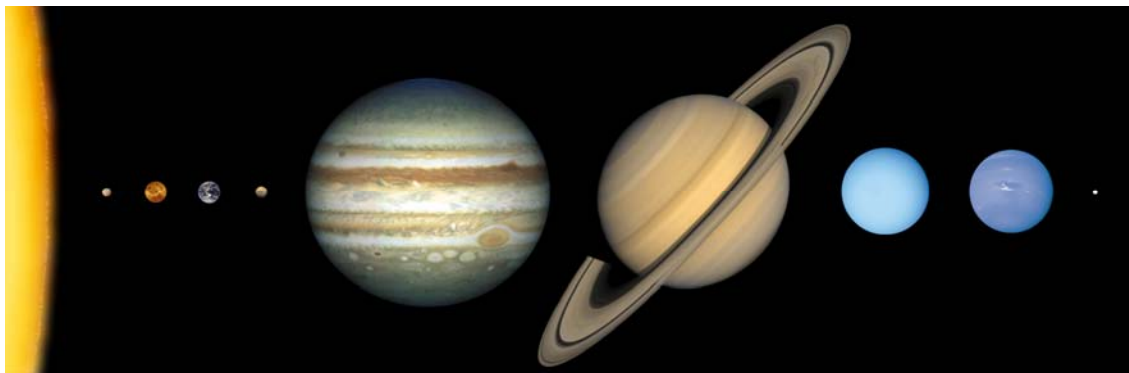


Fig. 2.- Grandàries dels planetes del sistema solar a escala, comparades amb el Sol, que apareix parcialment per l'esquerra.

Material

- Paper d'embalar, cartolina blanca, goma d'enganxar, tisores, colors, ceres.
- Fotografies dels planetes.

Construcció

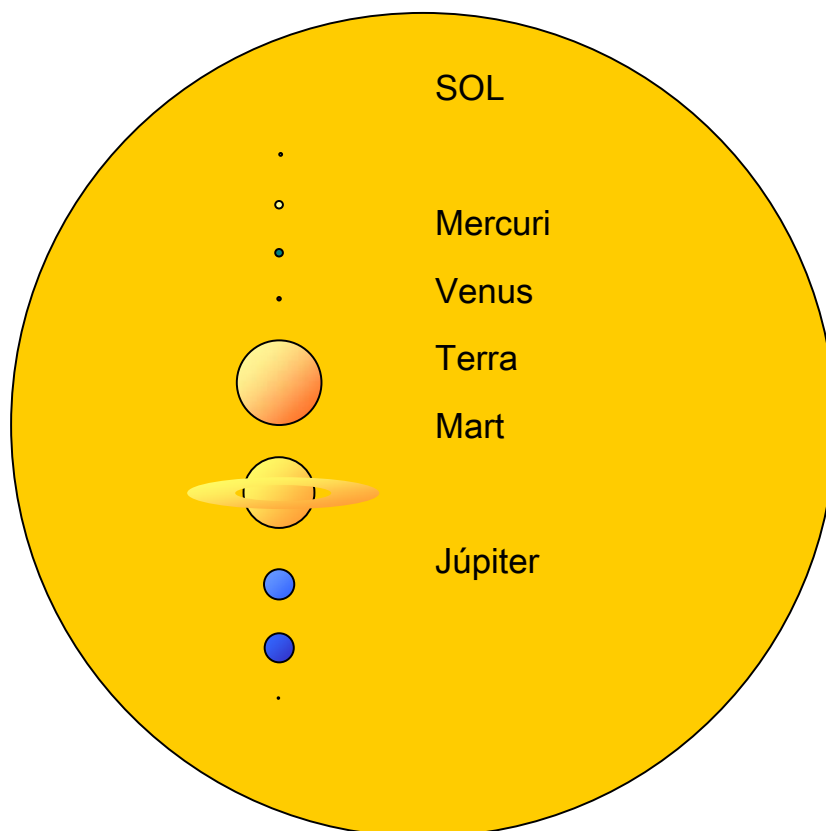
Es tria l'escala en què es representen els planetes. Pot fixar-se a partir de la grandària del Sol, que és molt gran (unes 100 vegades la de la Terra!), o a partir de la mida d'una foto que tinguem d'un planeta (per exemple, de Júpiter o Saturn).

Si triem, per exemple, una escala de 1 cm per cada 10 000 km, surten les mides següents:

Sol	Mercuri	Venus	Terra	Mart	Júpiter	Saturn	Urà	Neptú
139 cm	0,5 cm	1,2 cm	1,3 cm	0,7 cm	14,3 cm	12,0 cm	5,0 cm	4,9 cm

El Sol es dibuixa sobre paper d'embalar i es retalla i pinta de color groc. S'hi pot dibuixar també alguna taca solar o protuberància. Es retallen sobre cartolina els planetes i es pinten intentant reproduir les característiques que es veuen a les fotos. Si es disposa d'una foto de la mida adient, es pot enganxar sobre la cartolina.

Els planetes s'enganxen sobre un diàmetre del Sol, i s'ordena segons la seva distància. El conjunt es penja a la paret.



CONSTEL·LACIONS

Objectius generals

- Aprendre a reconèixer, a primera vista, algunes constel·lacions.
- Aprendre a localitzar la Polar i orientar-se.
- Aprendre a utilitzar un planisferi per a identificar totes les constel·lacions que es veuen una nit qualsevol.

Objectius concrets

En acabar el tema, l'alumne ha de saber:

- Què és una constel·lació
- Reconèixer l'Óssa Major, Cassiopea i la constel·lació característica de l'estació.
- Localitzar, a partir d'aquestes constel·lacions i fent les alineacions necessàries, els altres estels i constel·lacions de l'estació.
- Trobar l'estrella Polar a partir de l'Óssa Major o de Cassiopea i, llavors, situar els punts cardinals.

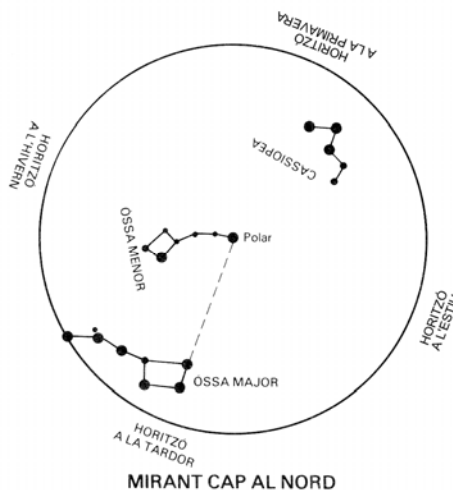


Fig. 1.- Constel·lacions que es veuen tot l'any mirant cap al nord.

Recomanacions

- En una introducció a l'astronomia sols s'hauria de fer les constel·lacions més importants, per tal de no confondre l'alumne amb tants noms nous.
- S'aconsella fer un estudi complet de:
 - ÓSSA MAJOR i CASSIOPEA, que es veuen tot l'any i ens serviran per trobar l'estrella Polar.
 - les característiques de l'estació.
tardor: PEGÀS i ANDRÓMEDA, que formen el quadrat de Pegàs
hivern: ORIÓ
primavera: LLEÓ

estiu: CIGNE, i a continuació, el triangle de l'estiu, format per Deneb del CIGNE, Vega de la LIRA i Altair de l'ÀGUILA.

- S'introduiran les constel·lacions una a una. No presentarem la següent sense que s'hagi treballat i es reconegui perfectament l'anterior.
- Si és necessari utilitzarem els noms dels estels que formen la constel·lació, però evitarem introduir-ne massa a la vegada. Un bon criteri és indicar només els noms dels estels de 1a magnitud.
- Es parlarà del color dels estels només si la constel·lació que treballem ho fa avinent. El color que destaca més és el vermell, i és interessant comparar un estel vermell amb un altre que no ho és, perquè l'alumne s'adoni que els estels són de colors diferents. Aquesta seria una manera de motivar-ne l'estudi. Aquesta comparació es pot fer:
 - a l'hivern: entre Betelgeuse (vermella) i Rigel (blava), ambdues de la constel·lació d'Orió.
 - a l'estiu: entre Antares (vermella) de l'Escorpió i Vega (blava) de la Lira.

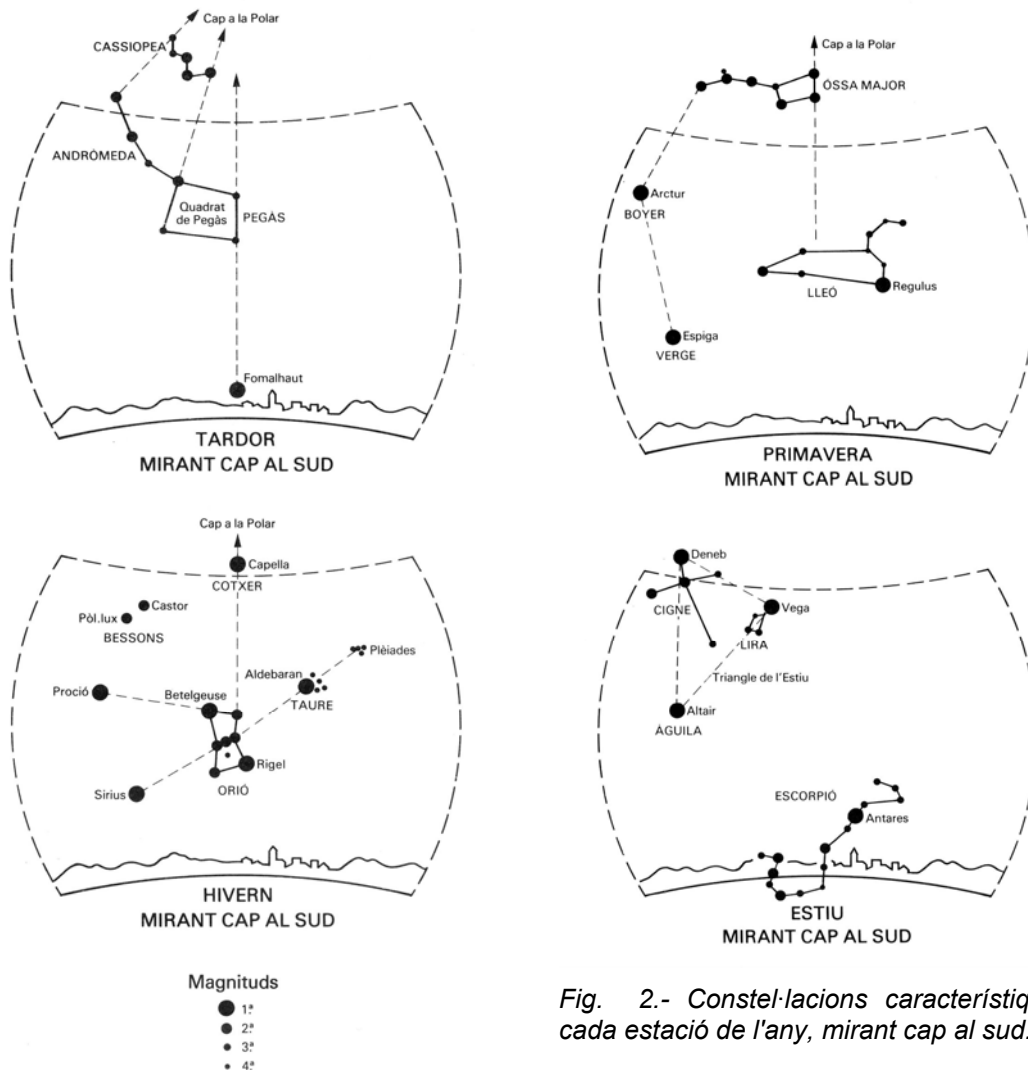


Fig. 2.- Constel·lacions característiques de cada estació de l'any, mirant cap al sud.

Conèixer les constel·lacions

Introduïrem el concepte de constel·lació ("conjunt d'estels que per la seva situació aparent formen una figura que facilita la seva identificació"), utilitzant un planisferi gran (del tipus mural) o diapositives, si es tenen. Per descobrir la necessitat de les constel·lacions, pot ser interessant ensenyar una imatge amb molts estels (on no hi hagi les línies que identifiquen les constel·lacions) i parlar d'una estrella en concret; de seguida els nois s'adonen que és difícil entendre's i es fa necessari parlar de constel·lacions.

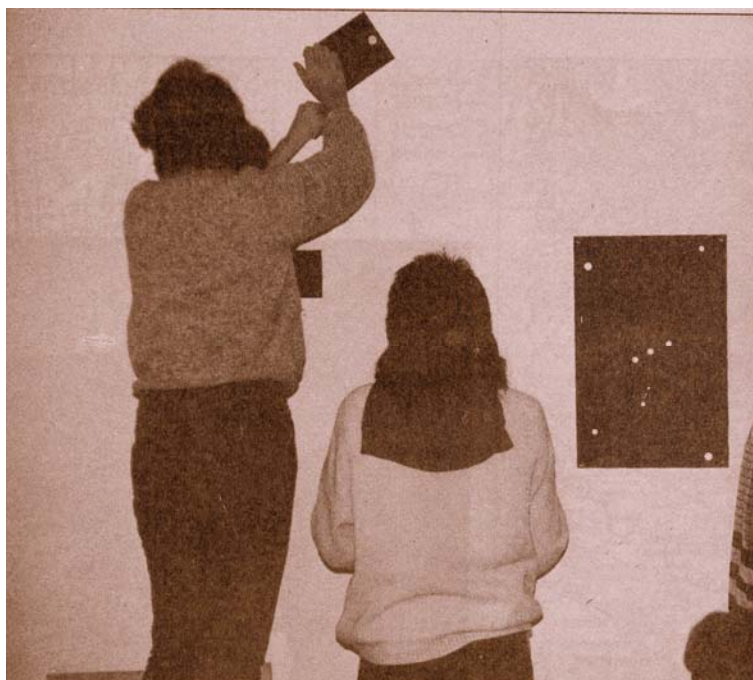


Fig. 3.- Composant el cel d'hivern a la paret: Orió i els estels de 1a magnitud del voltant.

Per a cada constel·lació cal fer:

- Presentar-la als alumnes utilitzant un planisferi mural o una diapositiva.
- En una fotocòpia de la constel·lació que es dóna en el material complementari (cal que hi hagi només una constel·lació al paper) cada alumne haurà de fer:
 - Comptar el nombre d'estels brillants que hi ha.
 - Assenyalar els estels ordenadament segons la seva magnitud (Preguntarem: quins són els més brillants?).
 - Repassar-ne la forma.
 - Posar les mides a les distàncies entre estels, prenent com a unitat el "puny" o el "pam". Això és necessari perquè hi ha grups d'estels que tenen formes molt semblants, com les Plèiades, l'Óssa Major i el quadrat de Pegàs, però difereixen molt en la grandària: les Plèiades fan més o menys un dit, l'Óssa Major un puny, i el quadrat de Pegàs un pam.
 - Conèixer el seu nom. Si es creu convenient, es pot parlar de l'origen mitològic d'aquest nom.
- Copiar la constel·lació amb color blanc sobre un quart de cartolina negra. És important que no es dibuixin les línies que fan la forma de la constel·lació ja que en la realitat no existeixen i l'alumne ha de superar la

dificultat que representa identificar la constel·lació sense aquesta referència. Les magnituds es representen amb punts de diferents mides per tal d'imitar al màxim la realitat. Cada constel·lació que s'estudiï es col·locarà a la paret, tenint en compte la situació relativa de les constel·lacions i la posició en què l'observaran els nois (primeres hores de la nit).

- Treballar les alineacions que permeten localitzar altres estels i constel·lacions a partir de l'estudiada. Podeu utilitzar les gràfiques de cada estació que hi ha a continuació. La finestra que hi ha dibuixada correspon aproximadament al cel que es veu mirant més o menys cap al Sud sense moure el cap. La ratlla inferior correspon aproximadament a l'horitzó. S'ha de fer, en cada cas:
 - ÓSSA MAJOR i CASSIOPEA: Localització de la Polar.
 - ANDRÒMEDA i PEGÀS: Alineació d'ANDRÒMEDA, CASSIOPEA i la Polar.
 - ORIÓ: Alineacions cap als BESSONS, Sírius, Aldebaran i les Plèiades.
 - LLEÓ: Alineació des de l'ÓSSA MAJOR per trobar el LLEÓ, Artur i Espiga.
 - CIGNE: El triangle de l'estiu i l'ESCORPIÓ.

Treball amb les constel·lacions

- Es convenient que l'alumne s'acostumi a veure les constel·lacions en posicions diferents, per això es pot fer l'exercici següent: el professor ensenyarà una de les constel·lacions estudiades canviant la seva posició habitual (inclinant-la o fins invertint-la si es tracta de les constel·lacions del voltant de la Polar) i els alumnes hauran de reconèixer-la.
- L'alumne buscarà, ell sol, les constel·lacions en un planisferi i al cel, utilitzant el dibuix que ha fet en cartolina negra i tenint en compte les mides que ha treballat.
- Explicarem la forma d'utilitzar el planisferi celest. Després, determinant un dia i una hora, l'alumne buscarà el cel que es veurà en aquell moment i dirà quines de les constel·lacions estudiades veuran i en quina posició.
- Observació nocturna del cel, conjunta amb tota la classe, durant la nit per a localitzar les constel·lacions estudiades, situar la Polar i, ajudats per un planisferi, reconèixer les altres constel·lacions.
- En una visita al Planetari els alumnes coneixeran altres constel·lacions, comprovaran que no veiem les mateixes constel·lacions durant un any i descobriran que des de l'hemisferi sud se'n veuen algunes que no les podem observar des d'aquí.

CONSTRUCCIÓ DEL PLANISFERI

Podeu fer construir un planisferi a cada nen a partir del model que es dona. Una altra opció és comprar-los fets.

El planisferi consta de dues parts: el mapa d'estels, que té el voltant graduat amb els dies i mesos de l'any, i la màscara d'horitzó, que té el voltant graduat en 24 hores. Per construir-lo, enganxeu el mapa d'estels sobre cartolina i

retalieu per donar-li la forma rodona. Retalleu la màscara d'horitzó, buidant tota la part de dintre (és per on s'han de veure els estels). Enganxeula sobre plàstic transparent i retalleu el plàstic per fora per donar-li la forma rodona. Superposeu la màscara d'horitzó i el mapa d'estels, procurant que siguin ben concèntrics. Foradeu el centre de tots dos amb unes tisores de punta i poseu-hi un enquadernador, de forma que puguin girar un respecte a l'altre. Ja està fet!

MANEIG DEL PLANISFERI

El cel per a un dia i una hora: Feu coincidir la data del mapa d'estels amb l'hora de la màscara d'horitzó (tingueu en compte que l'hora solar és 1 o 2 hores menys que l'hora oficial). Agafeu el planisferi i poseu-lo pel damunt del cap, amb el sud cap a baix. Poseu-vos de cara al sud. Els estels que veieu al cel són els que estan a la part baixa de la finestra. Podeu fer el mateix cap al nord, l'est o l'oest.

Moviment diürn: Per a un dia determinat, poseu la màscara d'horitzó per a una hora donada. Feu avançar l'hora. Veureu com els estels van apareixent per l'horitzó est i van desapareixent per l'horitzó oest.

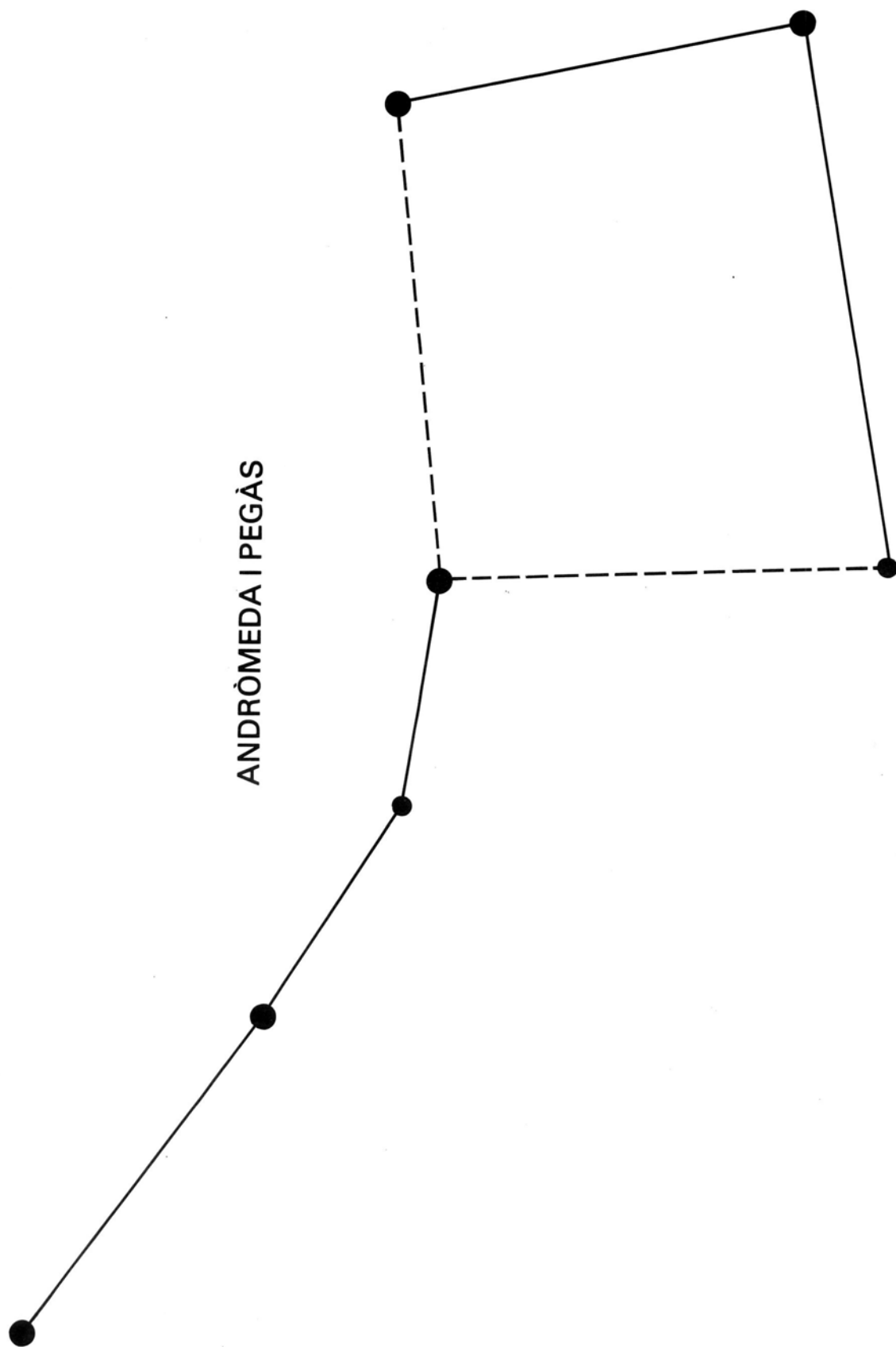
Posició de Sol: Per a cada dia de l'any, traceu un radi des del centre del mapa d'estels fins a la perifèria, al lloc on està marcat el dia. La intersecció d'aquest radi amb l'eclíptica (una línia de traços), dóna la posició del Sol per a aquest dia.

Sortida i posta del Sol: Una vegada localitzada la posició del Sol per al dia concret, gireu la màscara d'horitzó fins que l'horitzó est (per a la sortida) o l'oest (per a la posta) coincideixin amb la posició del Sol sobre l'eclíptica. L'hora de la màscara d'horitzó que coincideix amb la data del mapa d'estels ens dóna l'hora de sortida o de posta.

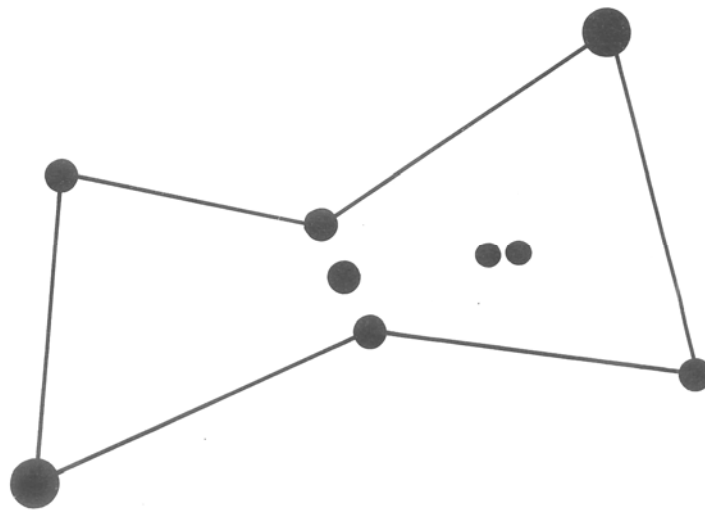
Moviment anual del Sol: Fixeu-vos que cada dia, la posició del Sol es va desplaçant respecte als estels cap a l'esquerra, seguint l'eclíptica. Als equinoccis (21 de març i 21 de setembre) el Sol passa per l'equador (està marcat amb declinació 0°), i el Sol surt a les 6 h i es pon a las 18 h. El 21 de juny i el 21 de desembre són els solsticis i és aproximadament quan el Sol surt més aviat i més tard, respectivament.

Localització dels planetes: Els planetes i la Lluna, igual que el Sol, es mouen aproximadament per l'eclíptica. La zona del cel al voltant de l'eclíptica s'anomena el zodíac (d'aquí ve el nom de les constel·lacions zodiacals). No pot ser mai que un planeta estigui lluny de l'eclíptica. Per exemple, des de Catalunya és impossible que un planeta estigui directament a sobre del nostre cap (al zenit).

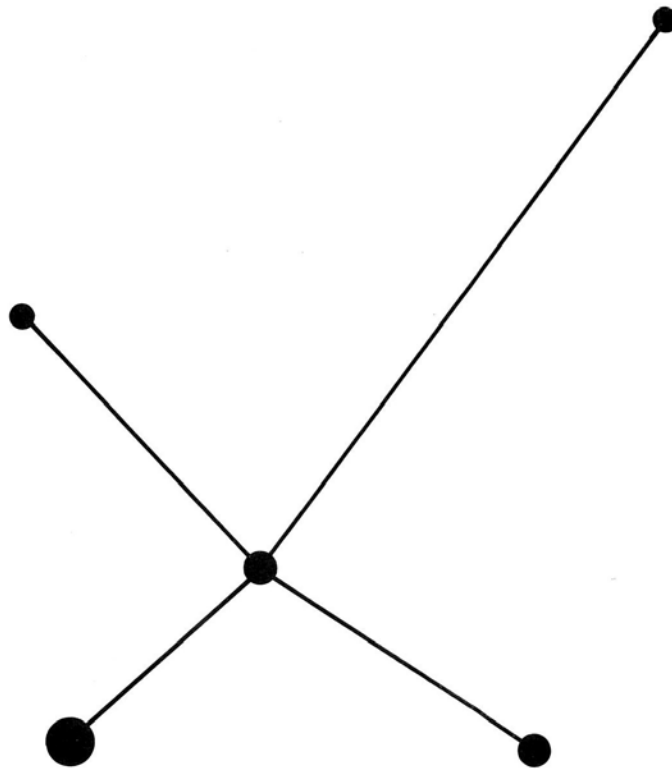
MATERIAL COMPLEMENTARI

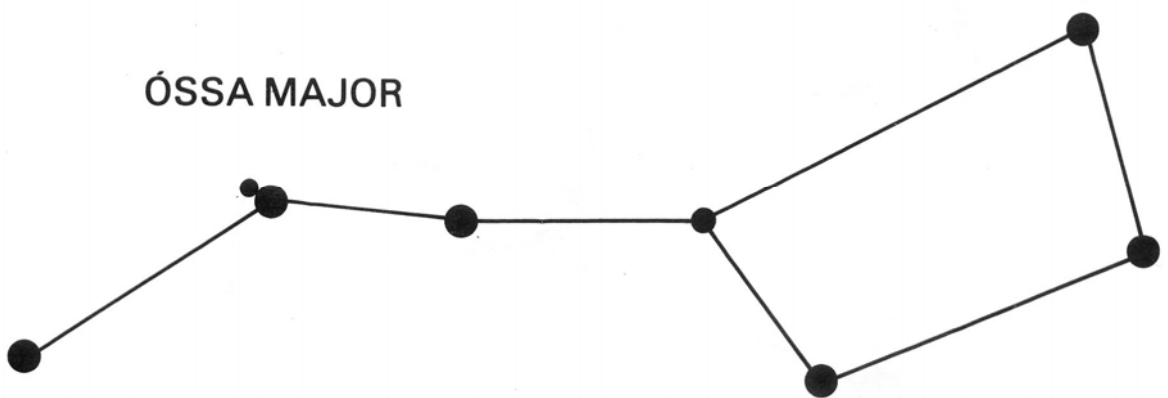
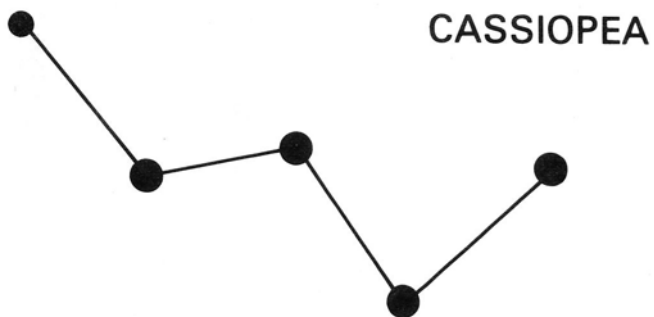
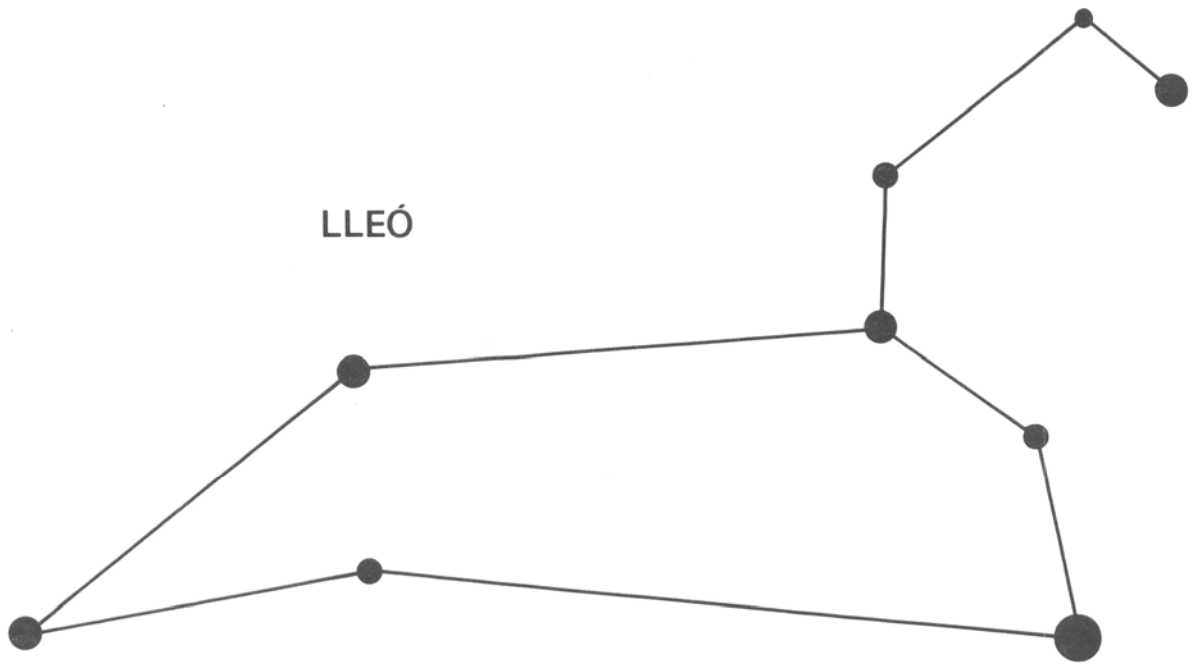


ORIO



CIGNE





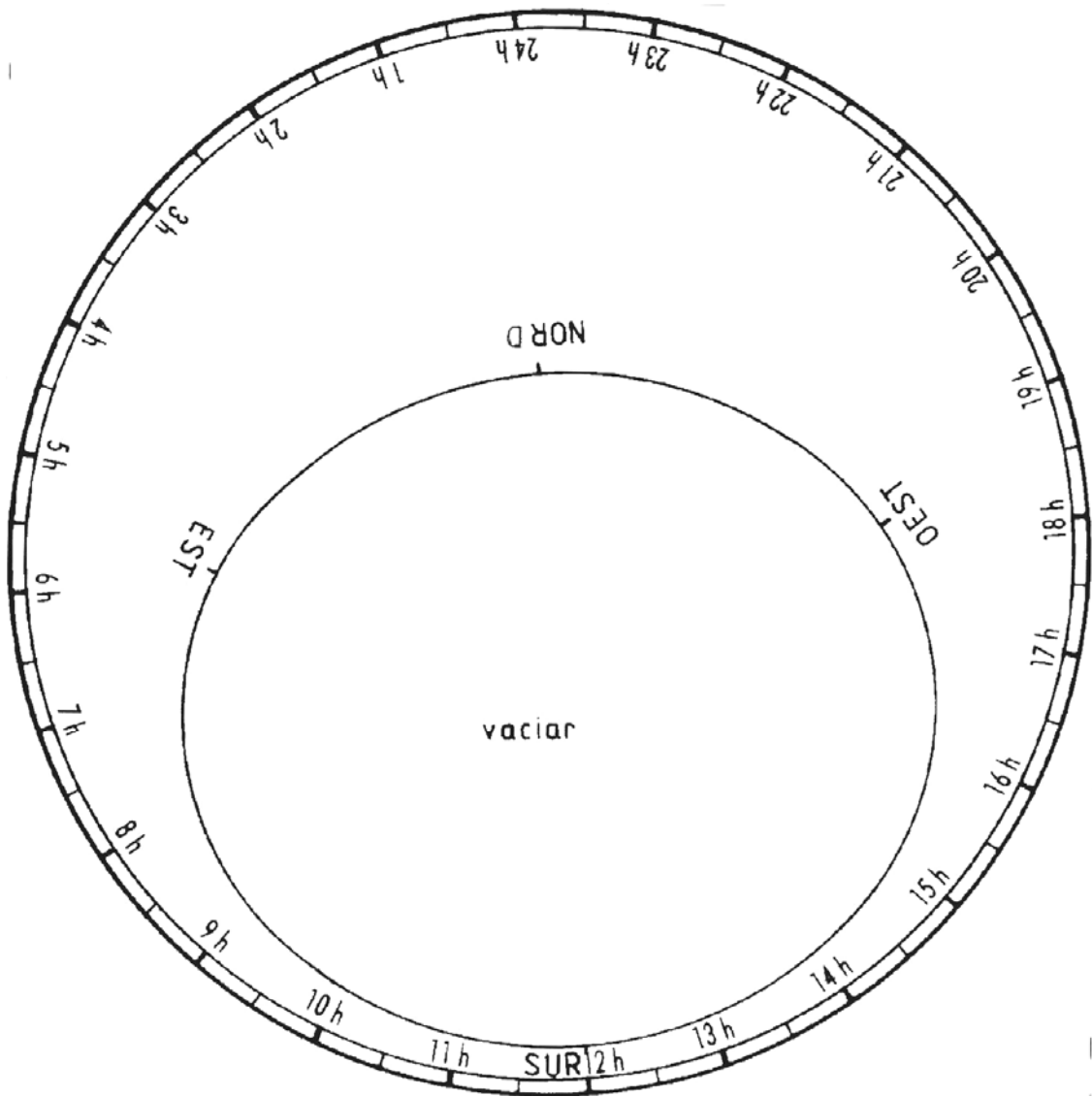


Fig. 4.- Planisferi: màscara d'horitzó.

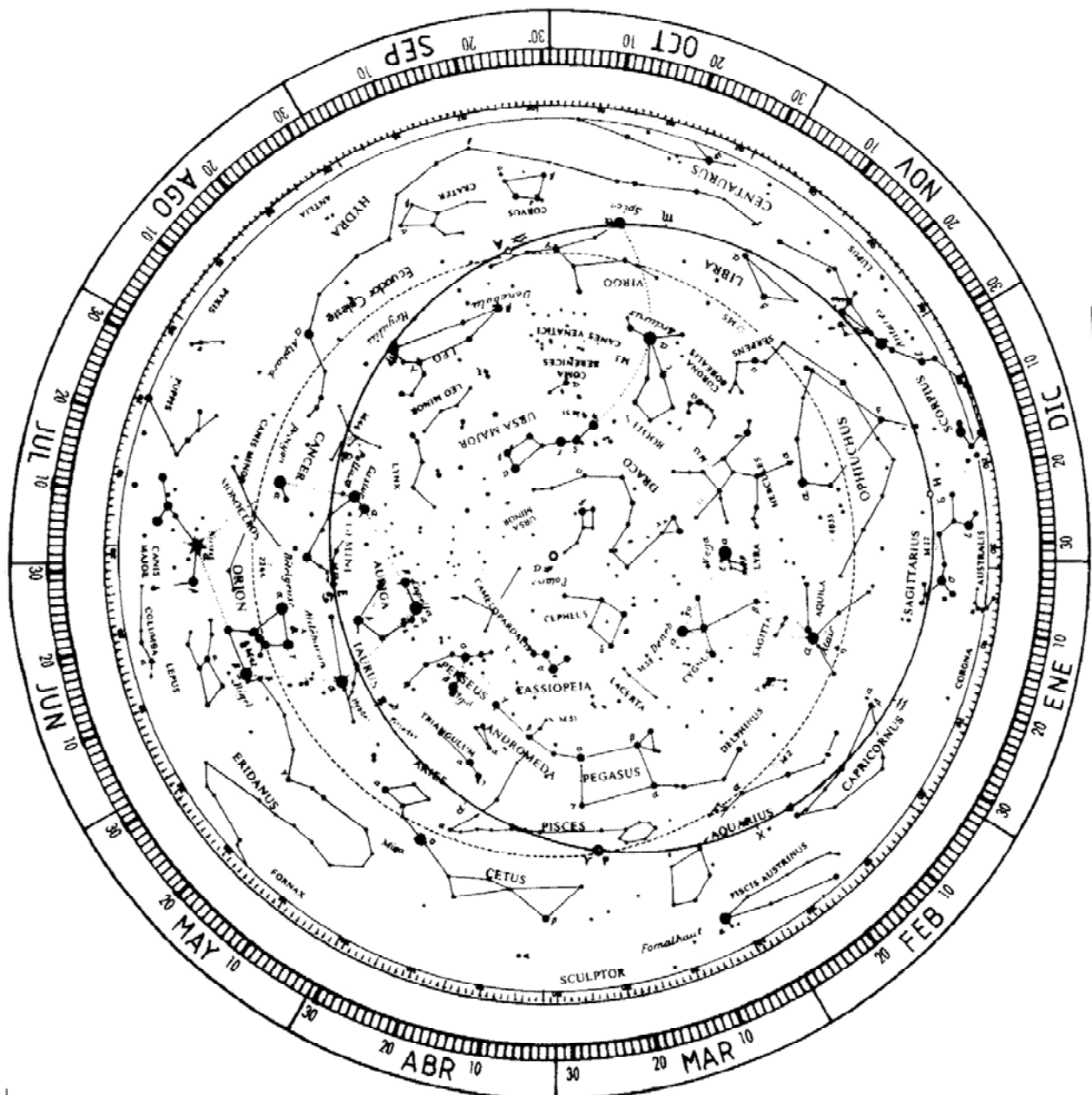


Fig. 5.- Planisferi: mapa d'estels.

L'ESFERA CELEST I L'OBSERVACIÓ A ULL NU

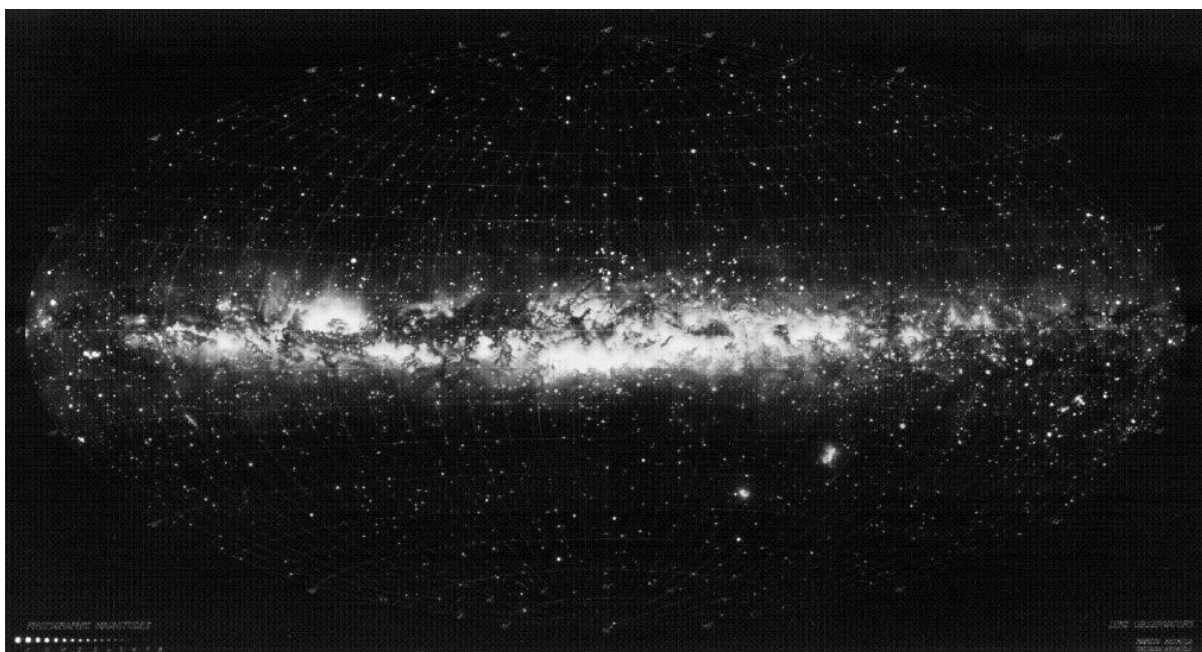
Introducció

De la mateixa manera que situem els diversos punts de la Terra mitjançant unes coordenades, els diversos punts del cel també tenen unes coordenades. Això ens permet d'orientar-nos, predir les posicions dels estels i planetes a diverses hores del dia, dies de l'any i segons el nostre lloc d'observació.

En aquests exercicis que proposem, tenim com a objectiu general aprendre a situar objectes al cel per coordenades, reconèixer estrelles amb la utilització d'un planisferi i entendre el moviment diürn dels astres.

Metodologia:

1. Introducció de coordenades geogràfiques
2. Introducció de l'esfera celest i les coordenades equatorials
3. Introducció de coordenades horitzontals amb la creueta i el quadrat
4. Utilització d'un planisferi
5. Observació a ull nu



Imatge del cel complet amb la gran concentració d'estrelles al disc galactic. A ull nu ho veiem com una franja nebulosa que anomenem Via Làctia. Copyright: Knut Lundmark, Observatori de Lund

1. Coordenades geogràfiques

S'introdueixen primer les coordenades geogràfiques per tal que l'alumne es familiaritzi amb la utilització de dos angles (latitud i longitud) per situar punts sobre d'una esfera, en aquest cas sobre d'un globus de la Terra. S'utilitzen circumferències sobre de l'esfera com a elements de referència.

1.1 Objectius

- Definició de coordenades per situar punts a la superfície de la Terra
- Familiaritzar-nos amb els conceptes d'eix, meridians i paral·lels

1.2 Material

- Una esfera del món, si se'n disposa
- Dibuix com la figura 1.1, alternativament

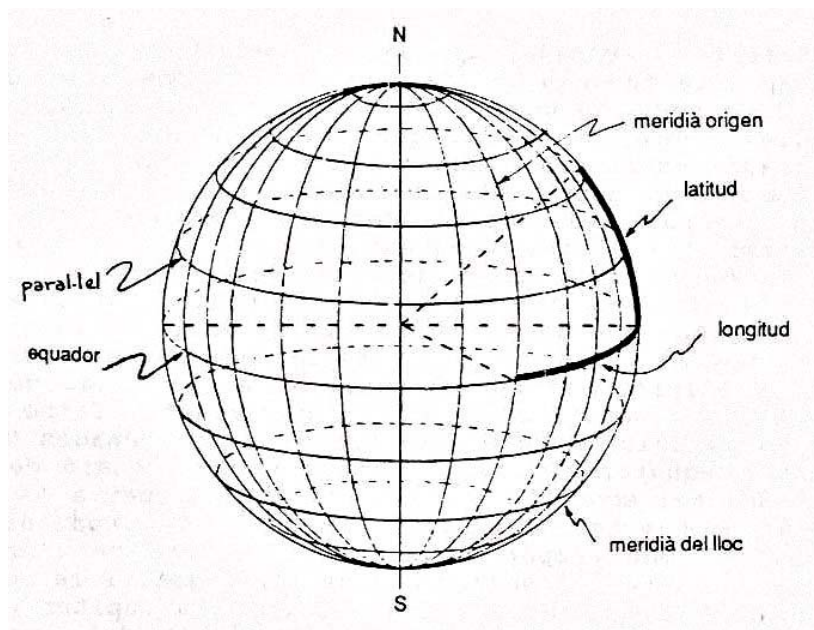


Fig. 1.1 : Línies i coordenades sobre de la Terra

1.3 Definicions

- *Eix de rotació*: eix imaginari que travessa la Terra, la qual gira al seu voltant
- *Pols*: interseccions de l'eix de rotació amb la superfície terrestre
- *Equador*: circumferència màxima, perpendicular a l'eix de rotació i que passa pel centre de la Terra
- *Paral·lels*: circumferències menors, paral·leles a l'equador
- *Meridians*: circumferències màximes que passen per ambdós pols
- *Meridià del lloc*: el meridià que passa per un lloc determinat

- *Meridià origen*: el que s'agafa com a referència (generalment el que passa per la ciutat anglesa de Greenwich)
- *Latitud* (λ): angle sobre el meridià del lloc des de l'equador fins al punt considerat. Positiva cap al nord i negativa cap al sud.
- *Longitud* (Φ): angle sobre l'equador des del meridià origen fins al meridià del lloc. Positiva cap a l'est i negativa cap a l'oest

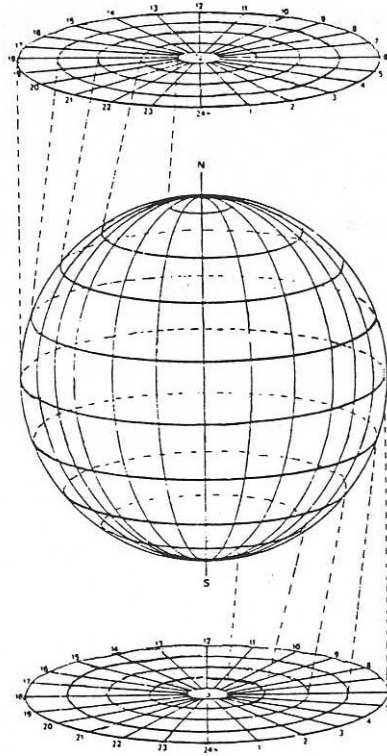


Fig. 1.2 Projecció de la Terra sobre plans

1.4 Exercicis

- Situeu en un mapa com el de la figura 1.3 el meridià origen i numereu els meridians de 10° en 10°
- Identifiqueu l'equador i numereu els paral·lels de 10° en 10°
- Situeu en el mapa diferents ciutats i muntanyes sabent-ne les seves coordenades
- Feu l'exercici a l'inrevés, i a partir d'un mapa o globus terraqui, determineu quines coordenades tenen altres ciutats, muntanyes, llacs, etc.

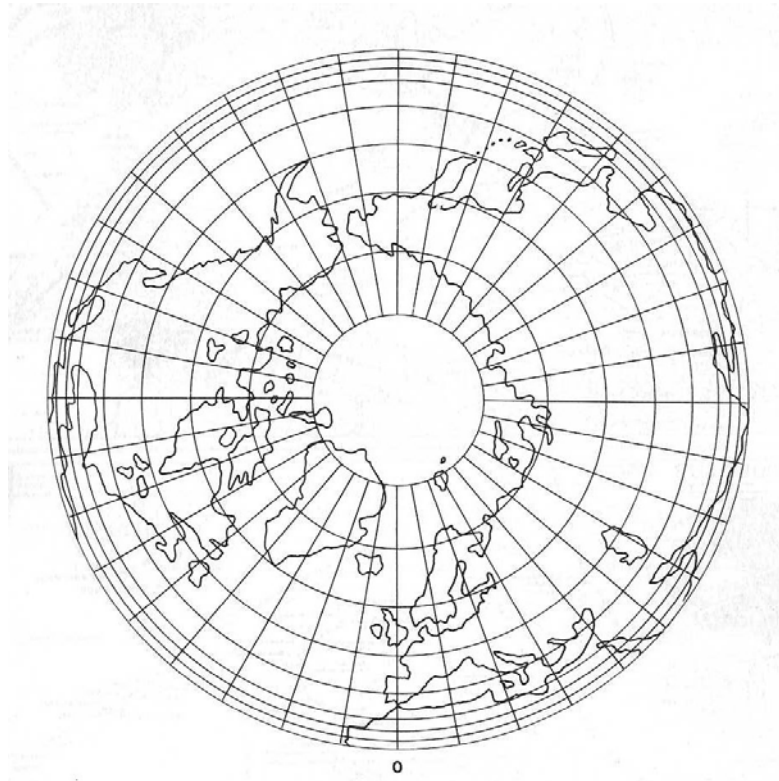


Fig. 1.3 Hemisferi Nord terrestre

2. L'esfera celest, coordenades equatorials

S'introdueix l'esfera celest com una extensió de l'esfera terrestre, amb circumferències i elements de referència anàlegs. Sobre d'aquesta esfera celest es defineixen les coordenades equatorials.

2.1 Objectius

- Definir coordenades equatorials per situar un astre al cel
- Treballar el concepte de pol, meridià i paral·lel celest
- Construcció d'un planisferi

2.2 Material

- Planisferi (mapa del cel)

2.3 Esfera celest

En observar els altres del cel podem apreciar les direccions cap on veiem els astres, però no podem apreciar a quina distància són. Aparentment, és com si tinguéssim una esfera (l'esfera celest) que ens envolta i on es projecten totes els astres. Vegeu la Fig. 2.1 com a il·lustració.

Compte: Hi ha una diferència important entre l'esfera de la Terra i l'esfera celest. Quan parlem de l'esfera de la Terra i "mirem" la Terra, ho fem des de la superfície. Quan "mirem" l'esfera celest ho estem fent des del centre de l'esfera i no des de la superfície.

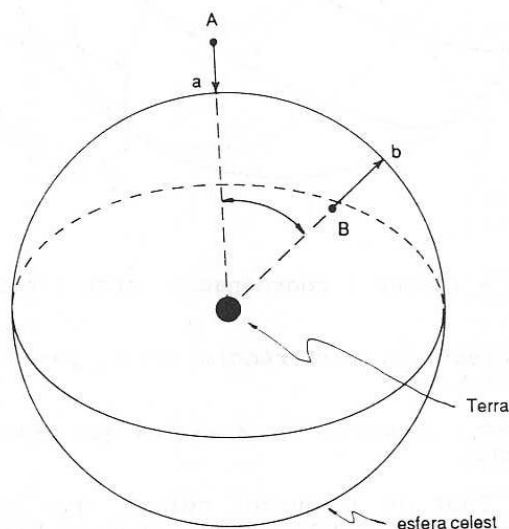


Fig. 2.1: Projecció dels astres A i B sobre de l'esfera celest de radi arbitrari.

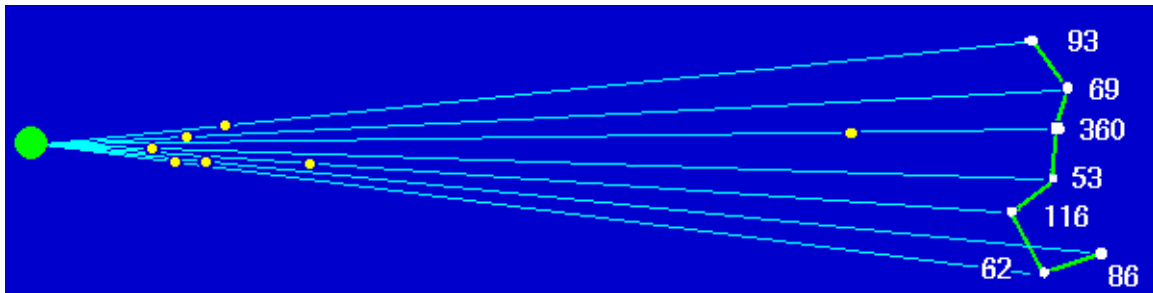


Fig. 2.2 Mostra la projecció sobre de l'esfera celest d'estrelles que estan a distàncies molt diferents de nosaltres

Així, doncs, l'esfera celest és una esfera imaginària que envolta l'observador, normalment situat sobre de la Terra. El radi de l'esfera és arbitrari i per facilitat és pren de radi igual a 1. Les estrelles que hi veiem projectades poden estar a distàncies molt diferents de nosaltres (vegeu Fig. 2.2).

2.4 Línies sobre l'esfera celest. Coordenades equatorials

Sobre d'aquesta esfera celest podem situar els astres anàlegament a com hem situat punts sobre de l'esfera terrestre. Per a això, definim un conjunt de referències sobre de l'esfera, tal com es veu a la Fig. 2.3.

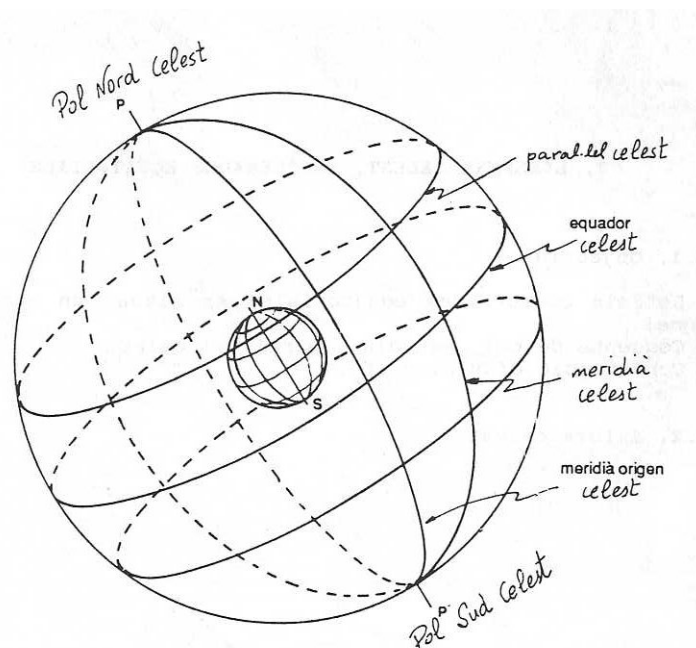


Fig. 2.3: Línies i coordenades a l'esfera celest

Les definicions són:

- *Pols celests*: projecció dels pols terrestres sobre l'esfera celest
- *Equador celest*: projecció de l'equador terrestre sobre l'esfera celest

- *Paral·lel celest*: circumferència menor, paral·lela a l'equador celest (és equivalent a projectar un paral·lel terrestre)
- *Meridià celest*: circumferència màxima que passa per ambdós pols celests (és equivalent a projectar un meridià terrestre)
- *Punt Aries*: punt de l'equador celest, que s'agafa com a origen de les ascensions rectes. Conegut també com equinocci de primavera, és el punt per on el Sol travessa l'equador celest, al voltant del 21 de març. (El meridià que passa pel punt Aries fa el mateix paper que el meridià origen a les coordenades geogràfiques)
- *Declinació* (δ): angle sobre el meridià d'un astre, des de l'equador celest fins l'astre considerat. Positiva cap el nord, negativa cap al sud. Es mesura en graus, entre -90° i $+90^\circ$. (És l'equivalent a la latitud a les coordenades geogràfiques)
- *Ascensió recta* (α): angle sobre l'equador celest des del punt Aries fins al meridià celest d'un astre. Creix cap a l'est. Es mesura en hores, entre 0^h i 24^h . (Fa el mateix paper que la longitud terrestre)

Les coordenades equatorials dels estels no depenen de la posició de l'observador sobre de la Terra i no varien de forma apreciable a l'ull humà amb el temps. Són les coordenades que es fan servir per catalogar les posicions dels astres.

Per tenir una llista de les constel·lacions i les seves estrelles, podeu consultar:

- The Constellations and their Stars:
<http://www.astro.wisc.edu/~dolan/constellations/constellations.html>
- MyStarsLive.com: <http://www.mystarslive.com>

2.5 Exercicis

1. En el mapa de la Figura 2.4:

- Marqueu el meridià origen celest
- Numereu els diferent meridians celests de 1^h en 1^h (de fet es tracta de situar els meridians amb diferent ascensió recta)
- Marqueu l'equador celest
- Numereu els diferent paral·lels celests de 10° en 10° (de fet es tracta de situar els paral·lels amb diferent declinació)
- Situeu en el mapa els estels més brillants de les constel·lacions del Lleó, Cassiopeia, Cigne, Ossa Major i Orió (es pot triar qualsevol altra constel·lació). Busqueu les coordenades en les adreces web citades.

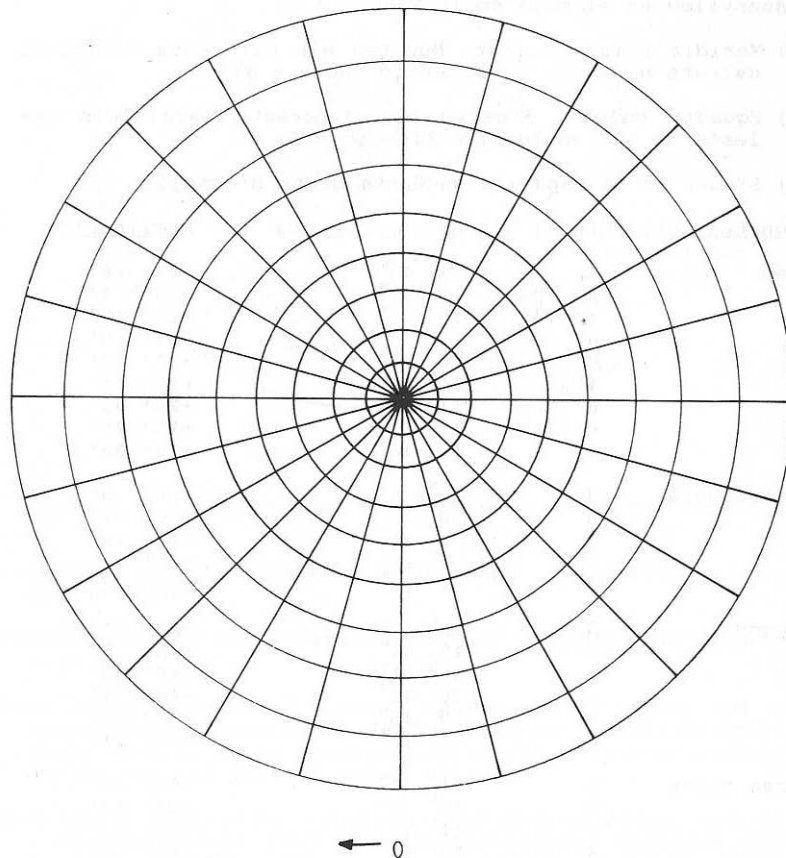


Fig. 2.4 Projecció de l'hemisferi nord de l'esfera celest

Es pot demanar als alumnes que comprovin si han situat bé els estels sobre del mapa. Es pot fer de diverses maneres:

- Mirant-ho en un planisferi
- A les mateixes adreces web citades hi ha dibuixos de les constel·lacions
- Amb guies del cel, si es tenen a mà, com per exemple "Guia de campo de las estrellas y los planetas de los hemisferios norte y sur", Edit. Omega

2. Mireu el planisferi i escriviu en una taula les coordenades equatorials que tenen cada un dels estels següents:

β Geminorum (Pollux)	α Leonis (Regulus)
β Orionis (Rigel)	α Cygni (Deneb)
α Lyrae (Vega)	γ Orionis (Bellatrix)
α Quilae (Altair)	α Piscis Austrini /Fomalhaut)
α Andromedae (Alpheratz)	α Centauri

2.6 Treball complementari

Es pot aprofitar per parlar de constel·lacions:

- Les constel·lacions a l'antiguitat com a representacions de figures
- Les 88 constel·lacions modernes acordades per la Unió Astronòmica Internacional el 1929
- Es poden obtenir imatges artístiques de constel·lacions a:

The Constellations and their Stars

<http://www.astro.wisc.edu/~dolan/constellations/constellations.html>

MyStarsLive.com

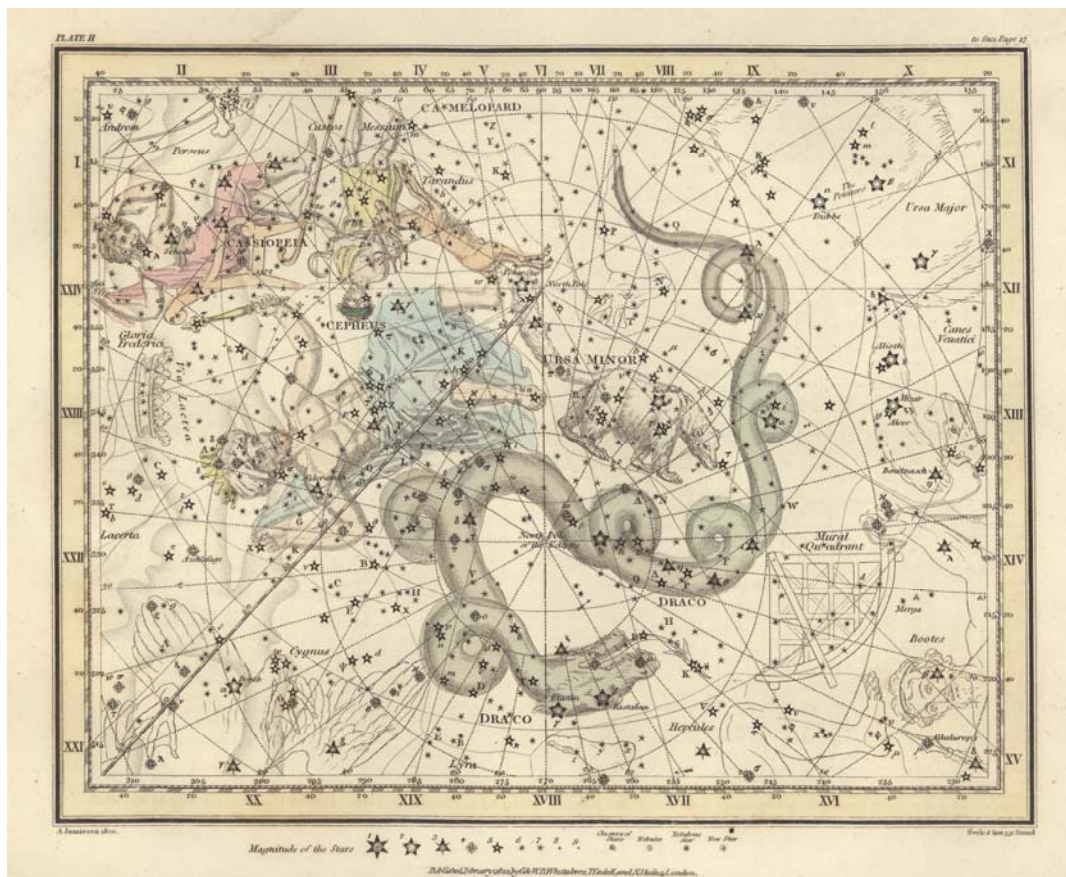
<http://www.mystarslive.com>

Heavens Above

<http://www.heavens-above.com/>

Celestial Atlas d'Alexander Jamieson

<http://aa.usno.navy.mil/library/artwork/jamieson.htm>



Representació del pol nord celest amb les constel·lacions que li són pròpies, extret del Celestial Atlas

3. Creueta, quadrant i coordenades horitzontals

Les coordenades horitzontals són les més adequades per situar astres al cel visible per a un observador, fent servir l'horitzó com a pla de referència. Amb dos aparells senzills (creueta i quadrant) es poden fer mesures dels dos angles que constitueixen aquestes coordenades.

3.1. Objectius

- Determinar la distància angular entre objectes terrestres i celestes
- Introducció de les coordenades horitzontals, altura i azimuth
- Mesura de l'altura i azimuth terrestres i celestes
- Millorar els resultats obtinguts fent la mitjana de les observacions. Anàlisi dels errors de les mesures

3.2 Introducció

La creueta és un instrument senzill per mesurar angles i grandàries angulars. Utilitzant una creueta per observar el cel, es poden obtenir precisions equivalents a les obtingudes pels astrònoms abans que Galileu comencés les seves observacions amb telescopi.

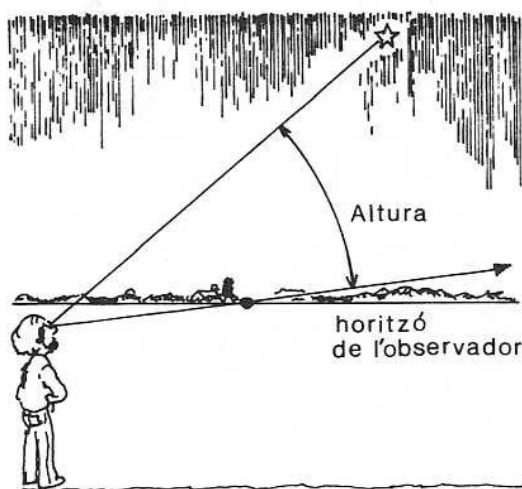


Fig. 3.1. Altura d'un estel sobre l'horitzó

El quadrant és un instrument per mesurar l'altura d'objectes celestes. L'altura d'un objecte és l'angle entre l'horitzó i l'objecte. L'altura d'un punt a l'horitzó és 0° , mentre que la del zenit, punt a la vertical del nostre cap, és de 90° (vegeu Fig. 3.1). El quadrant que podem construir és similar al gran quadrant mural de l'astrònom danès Tycho Brahe; malgrat ser el nostre més petit i transportable, és un bon exemple del tipus d'instrument emprat, durant segles, per observar el cel.

3.3 Material

- Dos regles de fusta de 50-100 cm
- Cartró per fer la creueta
- Un semicercle graduat, o cartró per fer-lo
- Plomada i fil per la plomada (uns 20 cm)
- Xinxetes

3.4 Construcció de la creueta

La creueta consta de dues peces: un regle i el que és pròpiament la creueta, que llisca per sobre del regle. El muntatge de l'instrument es pot veure a la Figura 3.2.

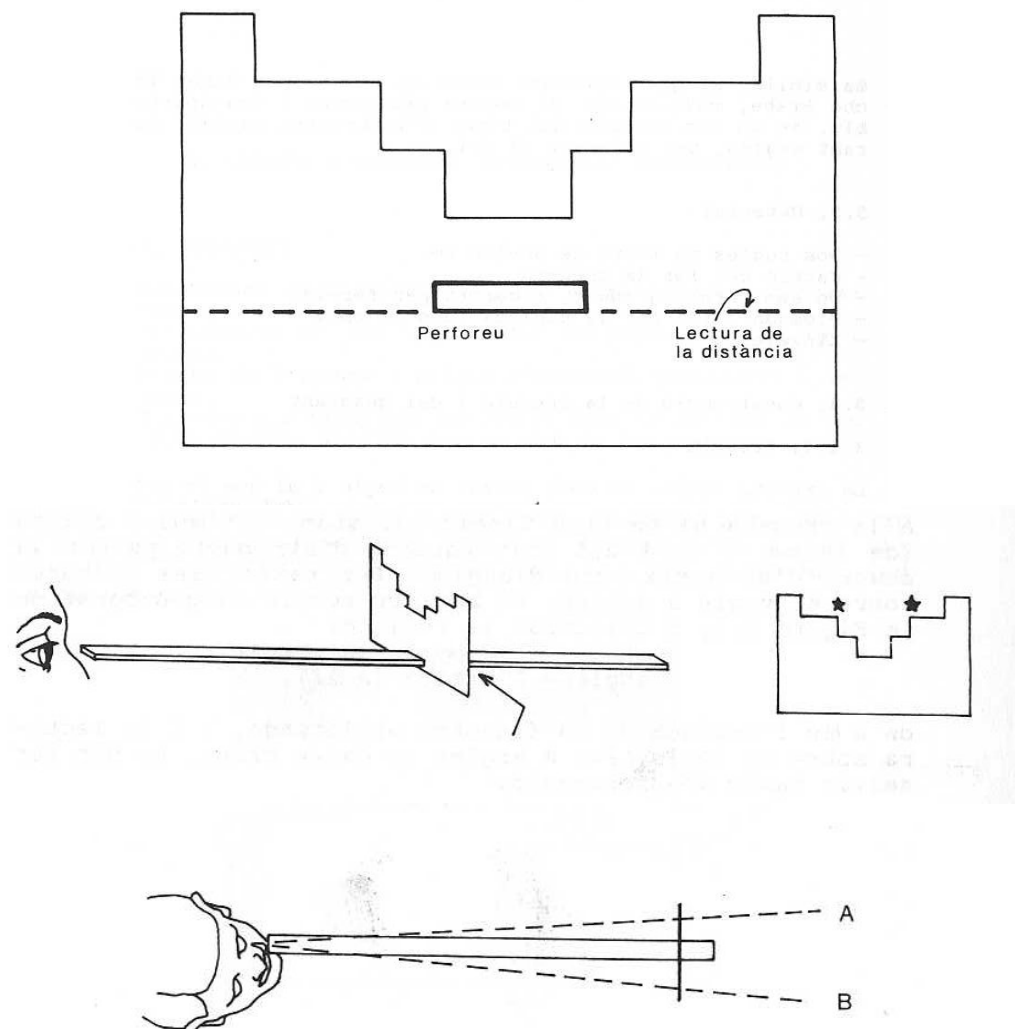


Fig. 3.2 La creueta i la seva utilització

A la creueta hi ha tres finestres: gran, mitjana i petita, de 10, 5 i 2,5 cm, respectivament. Aquesta distribució permet la mesura d'un ampli rang d'angles. Per passar les lectures sobre el regle a angles, es pot fer servir el gnomògraf de la Fig. 3.3, o utilitzar la relació:

$$\text{angle} = 2 \arctan (a/2 L)$$

on a és l'amplada de la finestra utilitzada, i L la lectura sobre el regle. Per angles no gaire grans, es pot fer servir també l'aproximació:

$$\text{angle (en graus)} = 180 a / \pi L$$

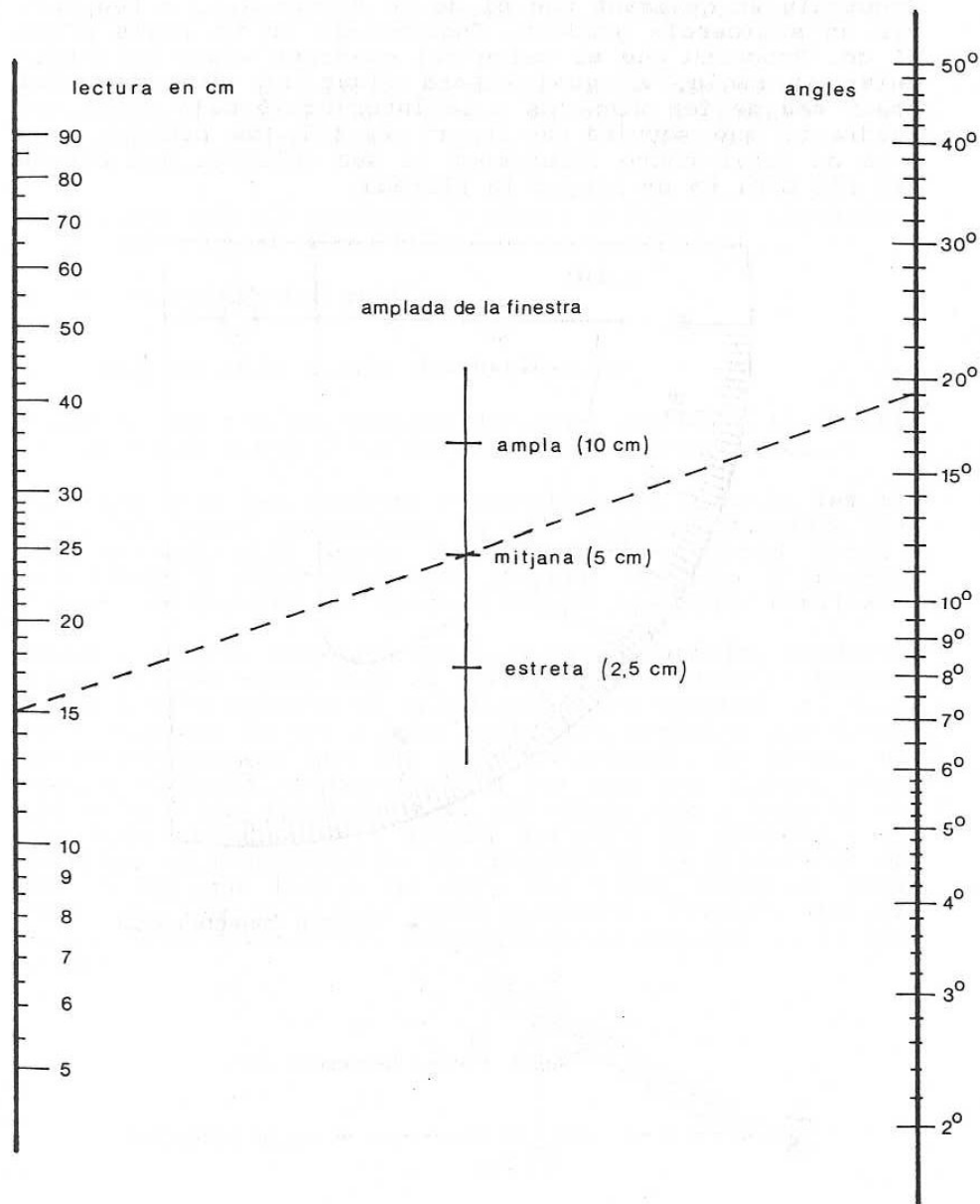


Fig. 3.3 Gnomògraf per a la creueta

3.5 Construcció del quadrant

Construïu un quadrant com el de la Fig. 3.4, o feu servir un semicercle graduat. Enganxeu-lo en un regle d'uns 50 cm. Procureu que el caire del quadrant sigui perpendicular al regle, al qual estarà fixat amb xinxetes. Cal posar una de les xinxetes a la intersecció dels eixos del quadrant, que servirà de suport al fil (de pescar), que s'ha de poder moure lliurement al seu voltant. A l'extrem del fil s'hi ha de penjar la plomada.

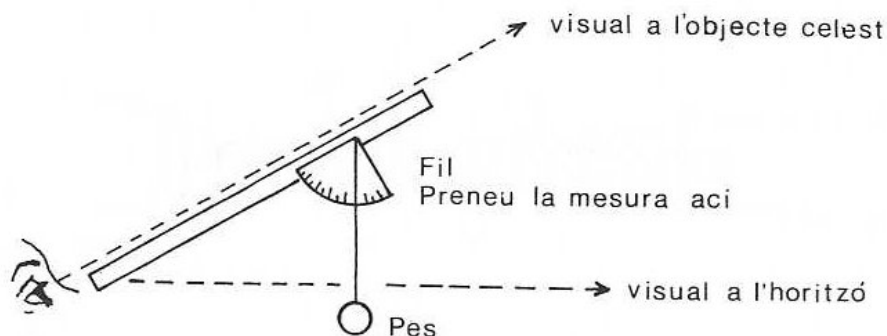


Fig. 3.4 Muntatge d'un quadrant

3.6 Exercicis. Observacions amb la creueta i el quadrant

- Calculeu la distància a un objecte sabent la seva grandària lineal i observant la seva grandària angular amb la creueta
- Measureu les distàncies angular entre els estels d'una constel·lació amb la creueta. Dibuixeu la constel·lació a escala sobre paper (si es fa en paper mil·limetrat o simplement quadriculat és més fàcil) a partir de les mesures, o també es pot fer servir qualsevol programa gràfic d'ordinador
- Measureu amb el quadrant l'altura d'objectes terrestres i, amb l'ajuda d'una brúixola, el seu azimuth
- Feu el mateix amb estels

3.7 Anàlisi dels errors de les mesures

S'han de repetir les mesures diverses vegades a fi d'obtenir un valor mitjà i una estimació de l'error comès.

Si s'han pres les mesures independentment unes de les altres, hi haurà variacions en els valors obtinguts. Cal espera que això passi ja que és impossible repetir exactament l'observació cada vegada. No s'han d'intentar forçar les mesures per obtenir sempre el mateix resultat !

Aquests errors, coneguts com errors aleatoris, tendeixen a eliminar-se entre ells si s'efectua una sèries d'observacions i se'n calcula el valor mitjà. En general, el valor de la mitjana és més a prop del valor vertader que s'està intentant mesurar que cap mida individual. En canvi, els errors sistemàtics tendeixen a fer que una mesura sigui més gran o més petita que el seu valor real, malgrat que es facin mitjanes. Són errors difícils de detectar. Per exemple, si l'obertura de la finestra de la creueta és més petita del que hauria de ser, les mides sobre el regle seran més curtes que el valor correcte. Presteu atenció, doncs, a la construcció correcta de la creueta i del quadrant !

3.8 Coordenades horitzontals

L'esfera celest vista des d'un lloc a la superfície de la Terra, està inclinada respecte de la vertical (tret dels pols Nord i Sud), tal com mostra la Fig. 3.6. A més aparentment aquesta esfera gira tal com mostra la Fig. 3.5, degut al moviment de la Terra entorn del seu eix.

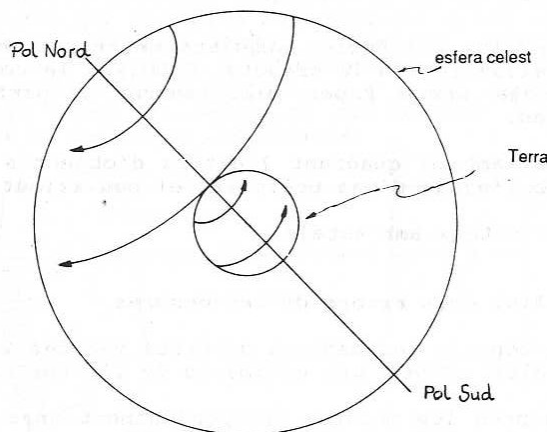


Fig. 3.5 Moviment diürn

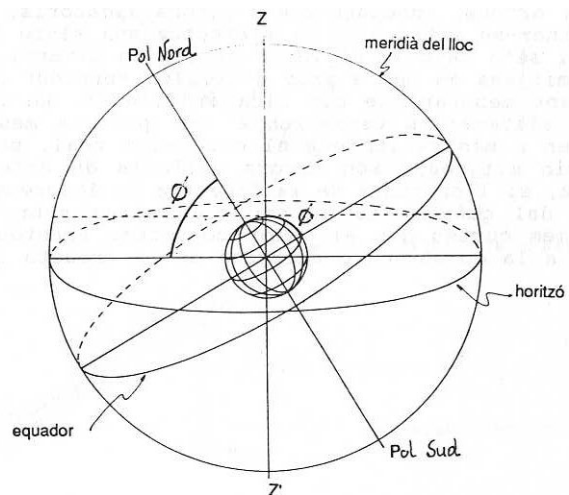


Fig. 3.6 L'esfera celest. Latitud del lloc

Sobre aquesta esfera inclinada definim nous angles i punts de referència. Les definicions són:

- *Zenit i nadir*: interseccions de la vertical que passa per l'observador amb l'esfera celest. El zenit és el punt de l'esfera celest a la vertical del nostre cap (z), i el nadir a sota els nostres peus (z')
- *Horitzó celest*: projecció del pla horitzontal que passa per l'observador sobre l'esfera celest
- *Punt cardinal nord*: Projecció del pol nord celest sobre l'horitzó. Es pren com a origen dels azimuts

- *Altura (h)*: angles des de l'horitzó celest fins l'astre considerat. Positiva per sobre de l'horitzó, negativa per sota. Es mesura en graus, entre -90° i $+90^\circ$.
- *Azimut (a)*: angle sobre l'horitzó celest des del punt cardinal nord fins la projecció de l'astre sobre l'horitzó. Creix cap a l'est. Es mesura en graus, entre 0° i 360° . El punt cardinal nord té $a=0^\circ$; l'est $a=90^\circ$; el sud $a=180^\circ$, i l'oest $a=270^\circ$.

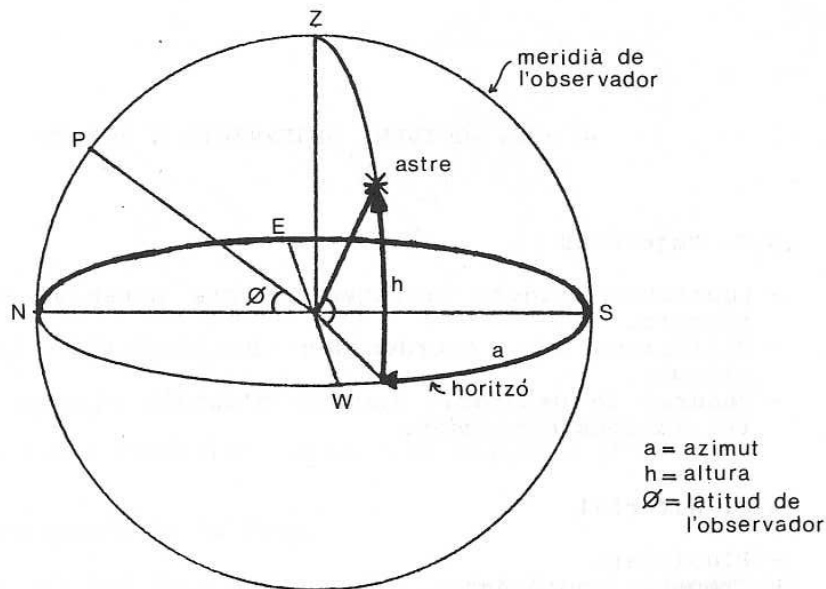


Fig. 3.7 L'esfera celest, altura i azimut

Les coordenades horitzontals d'un astre depenen de la situació de l'observador sobre la Terra, i varien amb el temps, tal com acabem de mencionar.

3.9 Exercicis

- Situeu sobre de la Fig. 3.7 els objectes terrestres mesurats a l'apartat 3.6
- Dibuixeu les estrelles de l'apartat 3.6 sobre de l'esfera celest de la Fig. 3.7

4. Planisferi

Un cop familiaritzats amb les coordenades, els alumnes poden entendre el planisferi i la seva utilització. La pràctica que us proposem inclou exercicis a classe i exercicis de camp. Vegeu també “Constel·lacions” per a primària.

4.1 Objectius

- Entendre la disposició d'un planisferi
- Familiaritzar-se amb l'ús del planisferi

4.2 Material

- Planisferi (mapa del cel, vegeu també Fig13 a “Constel·lacions”)

4.3 Explicació del planisferi

El planisferi consta d'un mapa d'estrelles amb un cercle graduats a la part externa, un amb els dies i mesos de l'any, i l'altre amb angles i/o hores. El professor ha d'explicar la correspondència entre el cercle d'angles i/o hores i l'ascensió recta. El professor ha d'ajudar a identificar la coordenada declinació.

La segona peça del planisferi és un cercle de plàstic (normalment) amb una finestra que deixa al descobert una part del cel. Aquesta segona peça pot girar sobre el mapa d'estrelles, de manera que va deixant visible diferents parts de l'esfera celest segons l'hora solar del dia i el dia de l'any.

El planisferi permet identificar les estrelles visibles en un dia i hora solar determinats, i també permet il·lustrar molt fàcilment el moviment diürn dels astres i els canvis al llarg de l'any.

4.4 Utilització

- Identifiqueu el Pol
- Identifiqueu les ascensions rectes i les declinacions
- Identifiqueu horitzó, zenit i punts cardinals
- Identifiqueu la part de cel visible: girar la part mòbil per tal de fer coincidir l'hora (solar) a la part mòbil amb el dia i el mes a la part fixa (el mapa d'estrelles). La finestra de la part mòbil mostra l'esfera celest visible
- Identifiqueu quines estrelles estan sortint i quines s'estan ponent. Il·lustreu-ho fent transcórrer el temps. Girant la part mòbil perquè avancin les hores: es veurà com les estrelles a l'horitzó oest s'amaguen i les de l'horitzó est queden al descobert
- Identifiqueu quines estrelles passen pel meridià de l'observador (les que són sobre la projecció de la línia nord-pol-zenit-sud). Cal ensenyar que en aquest

moment hi ha la màxima distància a l'horitzó, i que per tant és quan les estrelles són a màxima altura

- Ensenyeu que l'estrella polar sempre és al mateix lloc del cel (no canvia la seva posició respecte de l'horitzó)
- Identifiqueu el cercle de l'eclíptica
- Ensenyeu a situar el Sol sobre el mapa d'estrelles (a la intersecció de l'eclíptica amb la línia que uneix el pol amb el dia de l'any al mapa d'estrelles)

4.5 Exercicis a classe

- Determineu l'hora de sortida de diverses estrelles el dia d'avui. El professor pot triar les que vulgui d'acord amb l'època de l'any
- Determineu l'hora de posta de les mateixes estrelles
- Determineu l'hora de màxima altura per a aquestes mateixes estrelles. Assenyaleu als alumnes que és just al mig de l'hora de sortida i l'hora de posta, és a dir l'estrella triga el mateix temps per anar des de la sortida a l'est fins a altura màxima que per anar des d'altura màxima fins a la posta a l'oest
- Busqueu les hores de sortida i de posta d'alguna estrella prop del Pol, per exemple, de l'Ossa Menor. Els alumnes han d'adonar-se que en aquest cas les estrelles sempre són sobre de l'horitzó, i per tant que no surten i no es ponen. Són les estrelles *circumpolars*. Feu-los veure que de vegades són més a prop de l'horitzó i 12 hores més tard són a altura màxima.
- Determineu l'hora de sortida de les mateixes estrelles que al primer punt, però ara per a un dia d'aquí a sis mesos. Ensenyeu a l'alumne que cada dia l'hora de sortida va canviant, i que al cap de sis mesos surt amb 12 hores de diferència. Això permet doncs explicar que el cel nocturn de l'estiu i el de l'hivern no són iguals
- Situeu el Sol sobre el planisferi d'acord amb el dia d'avui. Deduïu l'hora de sortida, l'hora de posta i l'hora de màxima alçada
- Identifiqueu quines constel·lacions són sobre de l'horitzó al mateix temps que el Sol (i per tant no es veuen al cel nocturn)
- Identifiqueu quines constel·lacions són sobre l'horitzó quan el Sol és sota l'horitzó (i per tant es veuen al cel nocturn)
- Repetiu les operacions en el supòsit de situar-vos 6 mesos més tard. Demostreu altre cop que el cel nocturn no és el mateix a l'estiu que a l'hivern
- Demostreu que l'alçada màxima del Sol sobre de l'horitzó és diferent segons l'època de l'any. Ensenyeu-ho per al 21 de març, 21 de juny, 21 de setembre i 21 de desembre, i podreu discutir el nombre d'hores de claror i de foscor al llarg de l'any (quan el dia "creix", quan el dia "minva")

5. Cel nocturn, observació a ull nu

Un cop familiaritzats amb les coordenades i el planisferi, els alumnes són capaços de fer observacions a ull nu per al reconeixement d'estrelles i la mesura de distàncies angulars.

5.1 Objectius

- Localitzar alguns objectes celests notables en el cel nocturn
- Utilitzar les coordenades horitzontals (altura i azimuth)
- Mesurar la separació angular d'estels situats en constel·lacions conegudes.

5.2 Material

- Planisferi
- Creueta i quadrant

5.3 Observacions

Mesura de distàncies angulars: La distància aparent entre estels o entre punts del cel es dona en graus, habitualment, i una forma senzilla de mesurar-la és utilitzant la mà amb el braç estirat:

- La punta de l'índex cobreix un angle d' 1° (la lluna plena ocupa només mig grau)
- La distància entre puntes de dos dits és aproximadament igual a 5° (V de la victòria)
- El puny subtendeix un angle d'uns 10° (Fig. 5.1)
- La mà completament estesa, de la punta del polze fins la del menovell, és aproximadament igual a 20° (Fig. 5.1)

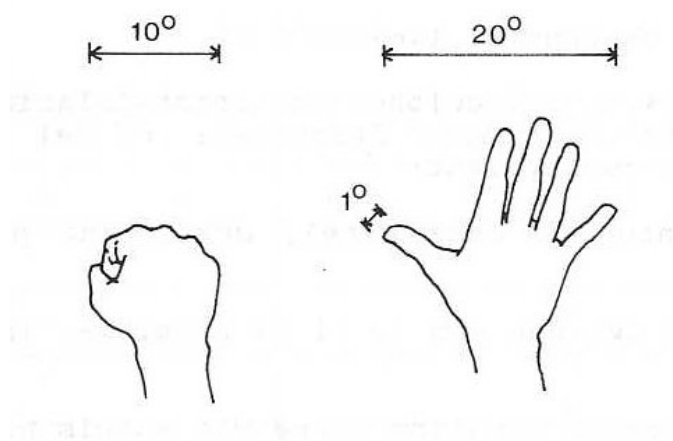


Fig. 5.1 Mesura de distàncies angulars amb la mà

Evidentment, de forma més precisa, es pot mesurar amb la creueta.

Localització de l'estrella polar: Localitzeu el Pol Nord celest utilitzant com a referència l'Ossa Major o Cassiopeia (Fig. 5.2) [també podríeu utilitzar una brúixola]. Traceu una línia imaginària des de la Polar fins a l'horitzó, perpendicularment a l'horitzó. El punt d'intersecció marca l'origen de l'azimut, que es mesura creixent cap a l'est. Preneu nota d'aquesta direcció respecte de punts destacats a l'horitzó (una muntanya, una antena, un edifici, ...).

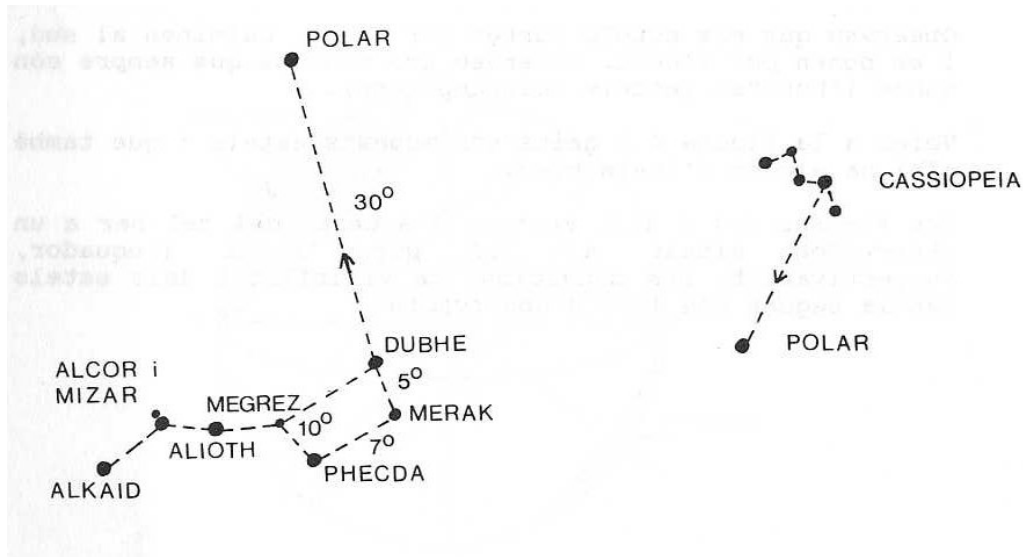


Fig. 5.2 Localització de l'estrella polar a partir de les constel·lacions de l'Ossa Major (esquerra) i de Cassiopeia (dreta)

Observació d'estrelles i constel·lacions: Situeu el planisferi davant vostre i orienteu-lo de manera que la part de baix correspongui al punt cardinal al que esteu encarats. Per exemple si esteu encarats cap el Sud, heu de situar el planisferi davant vostre, lleugerament damunt del vostre cap, de manera que l'etiqueta "sud" de la part mòbil del planisferi us quedi a sota, i l'etiqueta "nord" us quedi a la part més alta.

- Identifiqueu alguna constel·lació al planisferi que sigui visible i mesureu l'altura i azimut d'alguna de les seves estrelles amb la creueta i el quadrant
- Feu-ho també amb estrelles que siguin prop de l'horitzó est o oest
- Mireu cap a l'horitzó nord i identifiqueu alguna estrella que sigui molt propera a l'horitzó
- Identifiqueu figures al cel (triangles, rectangles, ...) que us serviran per reconèixer millor les estrelles del cel amb les que teniu al planisferi. Com a exemple teniu la Fig. 5.3

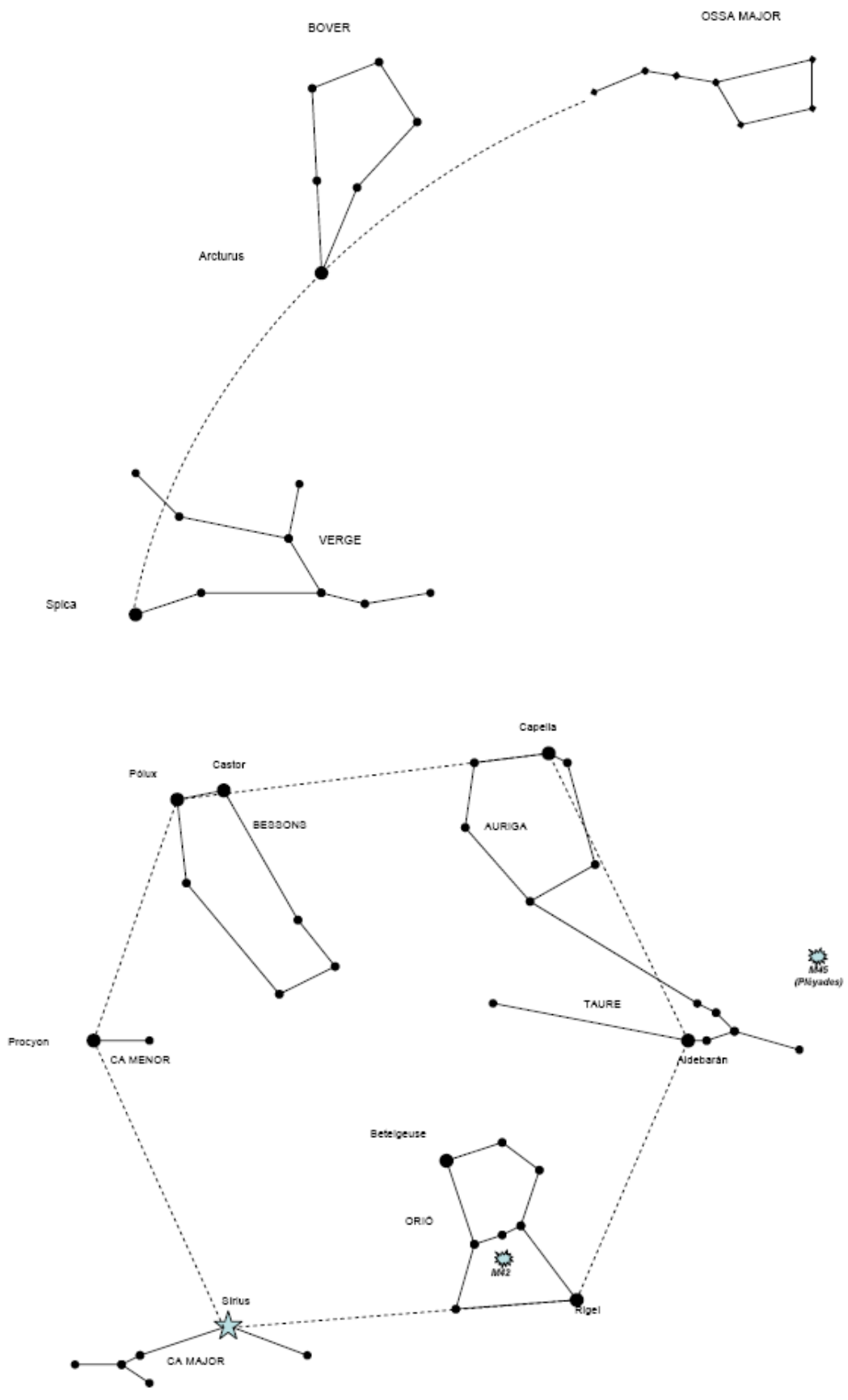


Fig. 5.3 Línies imaginàries que uneixen estrelles brillants de constel·lacions importants

- Al cap d'una estona (mitja hora és suficient) torneu a mirar les estrelles que eren prop de l'horitzó est o oest. Mesureu altre cop altura i azimuth. Comproveu que les de l'est ara són a altura més gran, i que les de l'oest ara són més baixes o ja s'han amagat sota l'horitzó
- Mireu altre cop cap a l'horitzó nord i comproveu que l'estrella que teníeu prop de l'horitzó no s'ha post. Són les *estrelles circumpolars* (Fig 5.4)

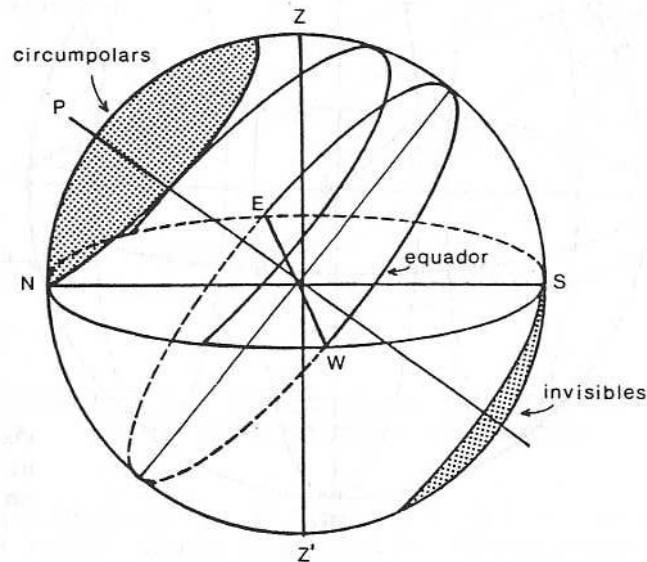


Fig. 5.4. Esfera celest i les condicions de visibilitat de les estrelles donada una posició a la Terra. Hi ha estrelles que són sobre l'horitzó les 24 h del dia (circumpolars), les que són sota de l'horitzó les 24 h del dia (invisibles), i les intermèdies que són les estrelles que en algun moment surten i en algun moment es ponen.

5.4 En un altre lloc de la Terra

Si ens situem en algun altre lloc de la Terra, les parts visibles i invisibles de l'esfera celest canviaran.

La Fig 5.5 mostra el cel vist des del Pol Nord. En aquest cas, el pla de l'horitzó coincideix amb el pla de l'equador i el zenit amb el pol celest nord. En el moviment diürn, les estrelles segueixen trajectòries paral·leles al pla de l'equador (horitzó), i per tant tot l'hemisferi celest nord és circumpolar i tot l'hemisferi celest sud és invisible.

En el cas de situar-nos a l'equador, Fig 5.6, el pla de l'equador és perpendicular al pla de l'horitzó, i el pol celest nord es situa sobre de l'equador. En el moviment diürn, les estrelles segueixen trajectòries paral·leles al pla de l'equador i per tant perpendiculars al pla de l'horitzó, i per tant tota l'esfera celest és visible.

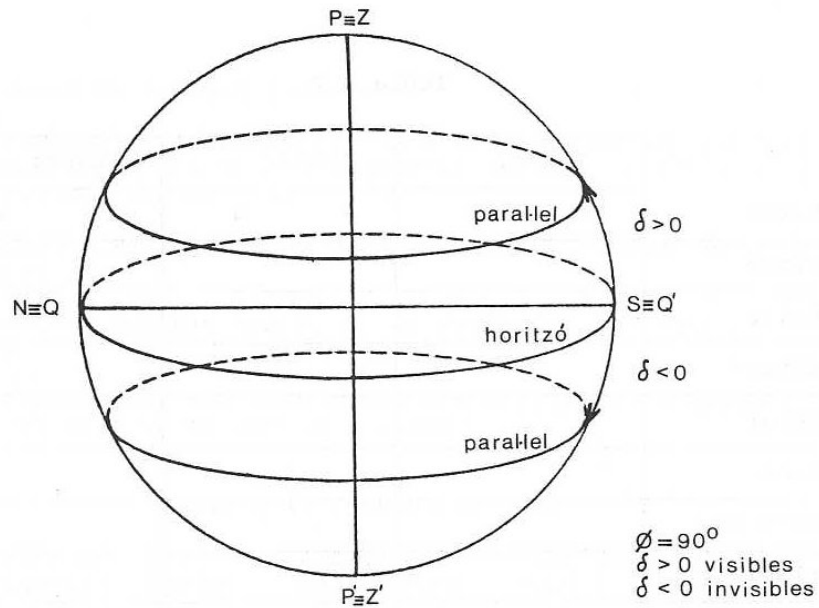


Fig. 5.5. El cel vist des del Pol Nord

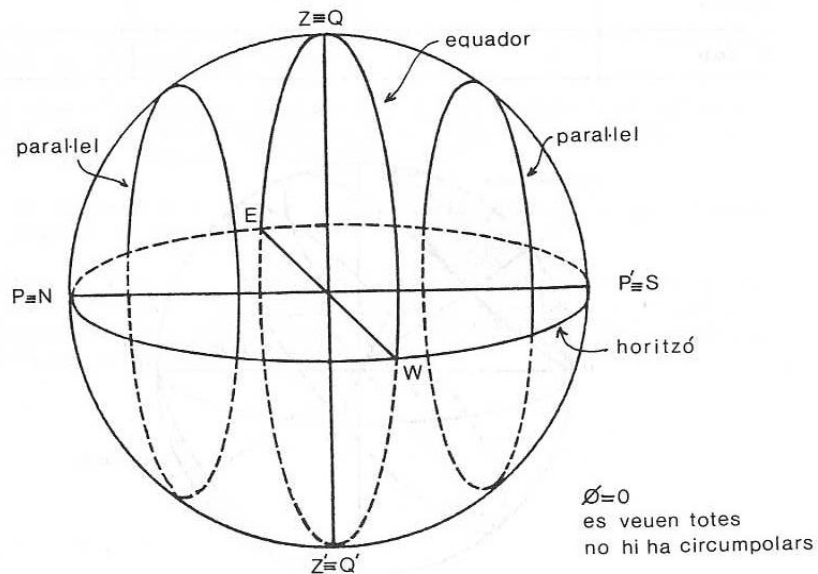


Fig. 5.6. El cel vist des de l'equador

5.5 Observacions avançades

Quan els alumnes estiguin familiaritzats amb les coordenades azimut i altura, l'observació del cel, el reconeixement de constel·lacions, podeu plantejar observacions una mica diferents:

- Feu-los adonar que hi ha estrelles més brillants i estrelles més dèbils

- Feu-los adonar que hi ha estrelles de diferents colors: Vega i Sirius són blanquinoses, mentre que Antares, Arcturus i Betelgeuse són vermelles
- Observació de cúmuls d'estrelles (Pleiades, el cúmulo doble de Perseu) i objectes nebulosos (la nebulosa d'Orió, la galàxia d'Andromeda). En alguns casos l'ajuda de prismàtics us serà d'utilitat i sempre necessiteu un cel molt negre. Aquests objectes també són dibuixats en els planisferis, i per tant es tracta d'identificar-los igual que quan identifiquem estrelles, o sigui relacionant-los a estrelles properes
- Observació de planetes: els planetes van movent-se pel cel (les seves coordenades equatorials canvien) i per això no estan representats en els planisferis. Quan vegeu un punt lluminós que no és al planisferi i que es situa prop de l'eclíptica molt probablement serà un planeta: Mercuri (sempre molt proper al Sol), Venus (a no més d'uns 40° del Sol), Mart, Júpiter o Saturn. Observant diversos dies seguits, i dibuixant la posició dels planetes respecte d'estrelles properes, podreu constatar el seu moviment respecte del fons d'estrelles
- També es poden observar satèl·lits artificials, que igual que els planetes, reflecteixen la llum del Sol. Els veiem com punts lluminosos que transiten molt ràpidament pel cel, de vegades creuant-lo completament
- Esporàdicament, es poden observar cometes a ull nu

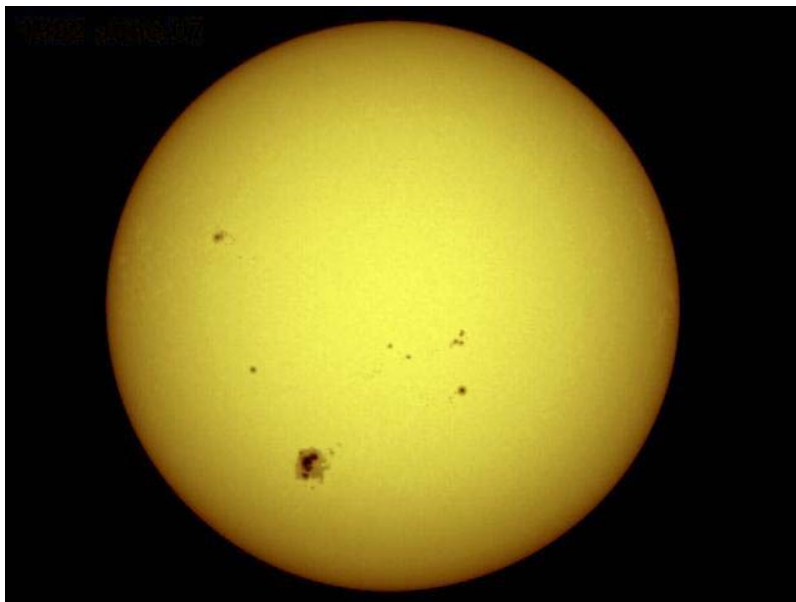
5.6 Material addicional

Hi ha força adreces web on podeu trobar condicions de visibilitat d'estrelles, planetes i satèl·lits artificials donat un lloc d'observació. Al web "Nine Planets" podeu trobar una llista de programari disponible: <http://astro.nineplanets.org/astrosoftware.html#www>. En particular a "Heavens Above" <http://heavens-above.com/>, podreu calcular quins satèl·lits artificials són visibles i quina trajectòria faran al cel, i moltes coses més.

EL SOL I L'ENERGIA SOLAR

Introducció

El Sol és la "nostra" estrella. En rebem l'energia que ens permet viure. Amb els exercicis que proposem pretenem que els nois i les noies el coneguin una mica millor. En particular, proposem que mesurin l'energia que es rep a la Terra (escalfant aigua) i la determinació de la rotació (mesurant les posicions de les taques solars). L'observació de les taques permet introduir als alumnes el concepte de l'activitat solar i el cicle solar.



Imatge del Sol amb taques a la superfície.
NASA Copyright

1. Mesura de l'energia rebuda del Sol

El senzill exercici d'escalfar aigua durant un temps fixat permet deduir l'energia rebuda i com a conseqüència l'energia emesa pel Sol, o sigui la seva lluminositat.

1.1 Objectius:

- Mesurar la quantitat d'energia calorífica rebuda per la Terra procedent del Sol.
- Calcular la constant solar.
- Relacionar la constant solar amb l'energia total produïda pel Sol.

1.2 Material:

- Un pot de vidre cilíndric de broc ample, amb tapa hermètica (es pot aprofitar qualsevol pot de verdura o llegum cuit per exemple)
- Plàstic negre per cobrir la meitat posterior del pot, per dintre (cal enganxar una mica aquest plàstic perquè no quedi surant quan es posi l'aigua dins)
- Un termòmetre per mesurar la temperatura de l'aigua dintre del pot
- Aigua a zero graus (es pot aconseguir amb una galleda d'aigua i gel)

1.3 Observacions:

S'omple el pot d'aigua a 0°C. Es col·loca el pot perpendicularment al Sol, de manera que els raigs de Sol travessin el vidre i s'absorbeixin dintre del pot, a la part del plàstic negre. Al cap de 15 minuts, es llegeix l'increment de temperatura que marca el termòmetre.

Mesureu l'altura del Sol durant l'observació. Ho podeu fer amb l'ajuda d'un quadrat, o bé mirant la llargada de l'ombra d'un pal clavat a terra verticalment (sabent-ne l'alçada).

Es repeteix l'observació, posant aquest cop el pot a l'ombra. D'aquesta manera es mesuren les pèrdues d'energia del pot i la rebuda d'energia per l'entorn. El conjunt d'observacions sol-ombra es repeteix dos cops per disminuir els errors de mesura. Anoteu els resultats a la taula següent:

	Inicial		Final		Increm. Temper.	Increm. Temper. per min.	Sol menys ombra
	Hora	Temp.	Hora	Temp.			
Sol							
Ombra							
Sol							
Ombra							

Taula 1: Observacions de l'energia rebuda del Sol

1.4 Constant solar:

El volum V el volum d'aigua, en cm^3 és:

$$V = \pi D^2 H / 4$$

on D és el diàmetre interior del pot, i H l'alçada interior. Sigui S l'àrea de la superfície col·lectora, en cm^2 :

$$S = D H$$

Sigui ΔT l'increment de temperatura per minut (Sol menys ombra) obtingut a partir de les observacions, en $^\circ\text{C}/\text{min}$, i deduït a partir de la taula. Calculeu la constant solar o energia que rebem per unitat d'àrea i unitat de temps (recordeu que $1 \text{ cal} = 1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}^3$):

$$C' = \frac{\Delta T V}{S} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

Corregiu el valor obtingut per la massa d'aire de l'atmosfera, per tenir en compte que a diferent alçades el gruix d'atmosfera que els rajos de Sol travessen és diferent:

$$C = C' / \sin h$$

on h és l'altura del Sol durant les observacions.

Expresseu la constant solar en W/m^2 ($1 \text{ W} = 15 \text{ cal}/\text{min}$).

1.5 Luminositat solar:

Imageneu una esfera al voltant del Sol, de radi r igual a la distància Sol-Terra (149,6 milions de km). A partir de la constant solar, quanta energia travessa aquesta esfera cada segon?

$$L = 4 \pi r^2 C$$

Aquesta és la lluminositat del Sol, o dit d'una altra manera l'energia produïda pel Sol per unitat de temps.

1.6 Comentaris:

Estrictament parlant, la constant solar a la Terra és la quantitat total d'energia que per unitat d'àrea i de temps. El resultat obtingut a les observacions només mesura la radiació electromagnètica que travessa l'atmosfera. L'atmosfera terrestre absorbeix tota la radiació d'altres freqüències (rajos gamma, X i ultraviolats) i part de les freqüències més llargues (rajos infrarojos).

És bo que l'experiment el realitzin diversos alumnes de manera que tingueu força mesures i pogueu minimitzar els errors: errors de mesura de les dimensions del pot, error en la quantitat d'aigua, errors en les temperatures, etc. Si el professor ho creu convenient pot fer una discussió del concepte de la mitjana i la dispersió dels valors deduits per diversos alumnes, del rebuig de mesures molt discordants, etc, o sigui bàsicament introduir els alumnes als conceptes de tractament estadístic.

1.7 Aplicacions:

Un cop calculada la constant solar podeu plantejar un munt d'aplicacions. Per citar-ne algunes:

- Calculeu aproximadament l'àrea col·lectora necessària per generar la potència elèctrica d'una casa, d'una ciutat.
- Compareu l'energia rebuda per unitat d'àrea i de temps C' a diferents alçades h del Sol (amb això podeu ensenyar perquè el Sol escalfa més al migdia que a primera hora del matí o darrera hora de la tarda)
- Sabent que l'excentricitat de l'òrbita de la Terra és de 0,0167, calculeu la diferència d'energia rebuda al perigeu i a l'apogeu (podreu demostrar que aquest efecte no és gaire important)
- Combinant els dos punts anteriors podreu ensenyar que el Sol escalfa més a l'estiu perquè es situa a major alçada
- Si visquéssim a Venus, situat a una distància del Sol d'aproximadament 0,7 vegades la de la Terra, quina seria la constant solar ?
- Si visquéssim a Mart, situat a una distància del Sol d'aproximadament 1,5 vegades la de la Terra, quina seria la constant solar ?
- També podeu comparar la nostra constant solar amb la que tindríem si el Sol fos una estrella diferent, per exemple Vega de 37 vegades la lluminositat solar, Procyon de 7 vegades la lluminositat solar. Podeu triar qualsevol estrella. Per referència podeu consultar:

<http://www.astro.wisc.edu/~dolan/constellations/constellations.html>



Panels solars

Figura extreta de <http://maryland.sierraclub.org/images/solar%20panel.JPG>

2. Observació de la rotació del Sol

Si ens miréssim la Terra des de l'espai podríem observar la seva rotació en 24 h perquè veuríem com els continents, i les seves muntanyes, valls, rius es van desplaçant, van sorgint de la cara amagada, transiten per la cara visible i tornen a amagar-se. El Sol és una esfera de gas sense continents, valls i muntanyes. Amb una superfície completament llisa no seria fàcil apreciar-ne la rotació. Tanmateix, les taques que sovint hi són presents i el seu desplaçament, juguen el mateix paper i ens permeten deduir com gira el Sol. Les observacions que proposem aquí són semblants a les que ja va fer en Galileu Galilei el 1612.

2.1 Objectius:

- Observar les taques solars.
- Determinar la trajectòria de les taques.
- Mesurar l'angle entre l'eix de rotació del Sol i el de la Terra.
- Determinar el període de rotació del Sol.

2.2 Material:

- Telescopi amb pantalla solar.
- Full de paper amb cercle graduat.
- Transparències.
- Regle.

2.3 Observació:

L'observació del Sol es pot fer amb qualsevol telescopi col·locant a l'objectiu un filtre per protegir l'ull de la persona que observa. També es pot fer l'observació de manera més segura recollint la imatge sobre una pantalla que es col·loca darrere l'ocular.

Sobretot, **MAI no mireu el Sol directament a través de l'ocular** sinó heu posat un filtre.

Consulteu: http://www.serviastro.am.ub.es/ets2008/metod_cat.html

Si no teniu telescopi, també podeu fer servir un "Solar scope" <http://www.solarscope.com/>
L'únic problema és que la imatge del Sol no es manté quieta i és una mica més difícil de dibuixar la posició de les taques.

Una altra opció és agafar les imatges diàries que envia el satèl·lit SOHO, una missió de les agències espacials americana i europea. La imatge etiquetada com "MDI Continuum" que és la que es correspon més a la imatge visual. La podeu trobar a <http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>

- a) Sobre la pantalla col·loquem un full de paper blanc on hi hagi dibuixat un cercle graduat com el de la Figura 2.1

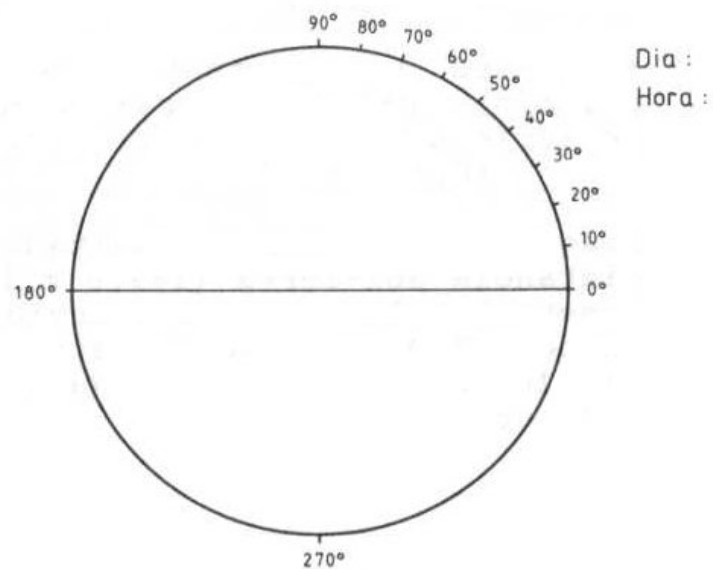


Figura 2.1: Cercle graduat per a l'observació de les taques solars

- b) Movem la posició de la pantalla per tal que la imatge del Sol tingui la mateixa grandària que el cercle graduat.
- c) Orientem la pantalla de manera que el perfil de la imatge del Sol (o una taca ben aparent) recorri el diàmetre que passa pels 0° (Figura 2.2).

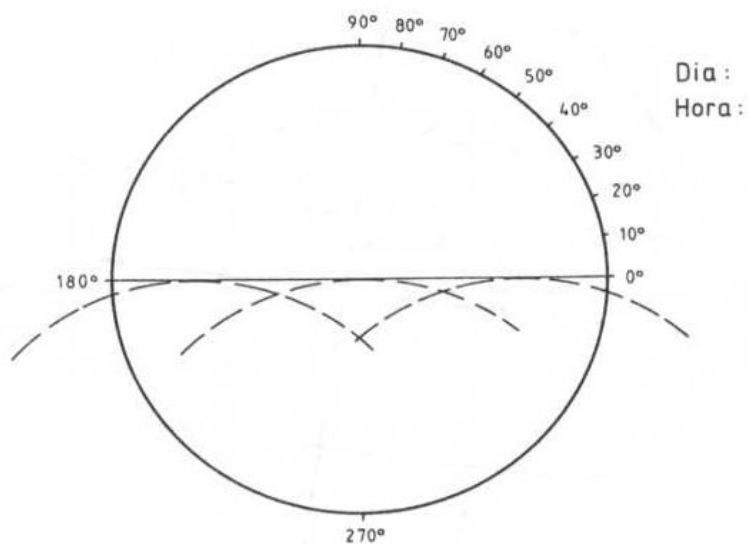
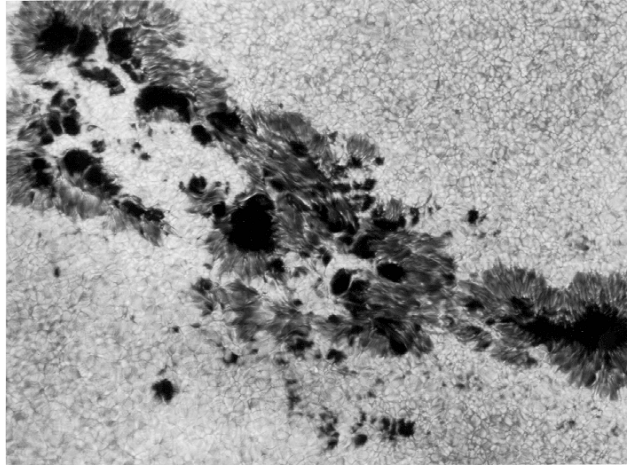


Figura 2.2: Orientació de la plantilla

- d) Observem les diferències entre les taques: isolades, grups de taques, grans, petites, només amb nucli, amb nucli i penombra.



Detall d'un grup de taques solars. Les zones més fosques són les més fredes
Figura extreta de http://galileo.rice.edu/images/things/ss_detailed.gif

- e) Dibuixem les taques solars sobre la plantilla i anotem la data i l'hora de l'observació.

Aquesta observació s'ha de repetir durant 5-6 dies, a ser possible a la mateixa hora del dia aproximadament.

2.4 Període de rotació:

Un cop fetes observacions durant uns quants dies, superposem les unes amb les altres.

- Observeu que les taques recorren trajectòries rectilínies paral·leles. Traceu-les.
- Traceu la perpendicular a les trajectòries rectilínies (serà la línia pol nord – pol sud). Dibuixeu l'equador del Sol (Figura 2.3).
- Observeu que l'equador del Sol no coincideix amb la línia 0° . Això és perquè l'eix de rotació del Sol i el de la Terra no tenen la mateixa direcció. Mesureu-ne l'angle.
- Mesureu la distància x de cada taca a la línia que passa pels pols nord i sud. Feu-ho per a cada observació. Poseu els resultats per a cada taca a una caixa de la taula 2.

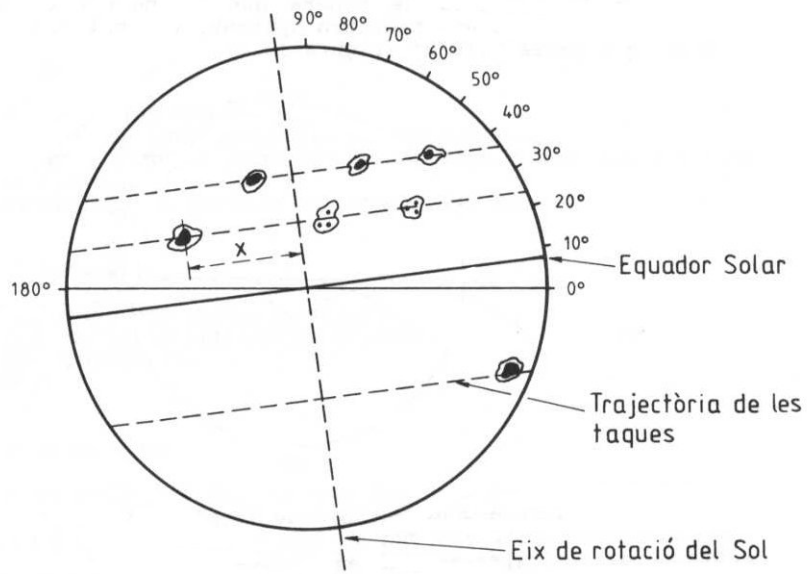


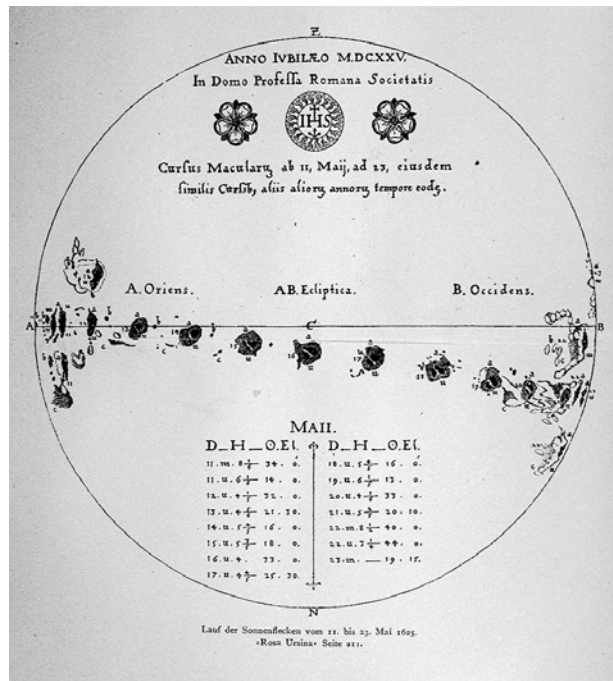
Figura 2.3: Superposició d'observacions de diferents dies

Taula 2: Emplaçament de les taques sobre la superfície del Sol a cada observació. Cada caixa ha de contenir les diverses observacions d'una taca

Taca	Dia	Hora	x	D/E	AB	α	ω

Taca	Dia	Hora	x	D/E	AB	α	ω

Taca	Dia	Hora	x	D/E	AB	α	ω



Dibuixos Rosa Ursina de Scheiner del desplaçament de les taques amb el temps
 Figura extreta de http://galileo.rice.edu/images/things/scheiner_rosa_ursina1-l.gif

A la figura 2.4 hi ha representades diferents posicions d'una taca, vista per sobre del pol nord solar i vista sobre el paper. Així doncs, la posició de la taca sobre l'esfera solar, donada per l'angle α , està relacionada amb la posició sobre el paper:

$$\cos \alpha = 2x / AB$$

- e) Calculeu aquest angle i la distància AB i completeu la taula 2
- f) La velocitat de rotació de cada taca la podem calcular sabent quin angle ha recorregut i en quin interval de temps

$$Velocitat\ angular = \Delta\alpha / \Delta t$$

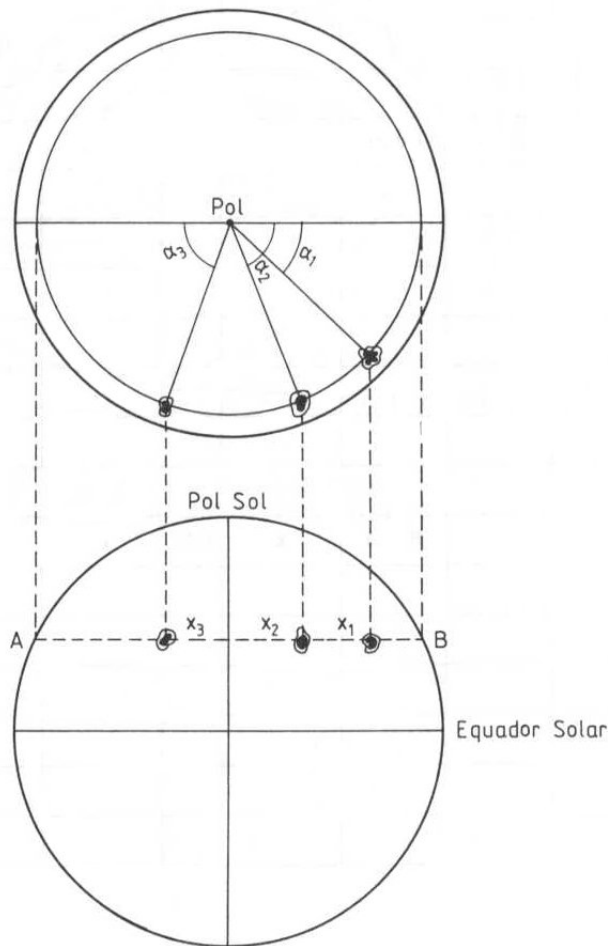


Figura 2.4: Rotació d'una taca amb el temps

g) Calculeu el període de rotació.

2.5 Comentaris:

A l'hora de triar les taques per dibuixar i per analitzar és recomanable triar taques més aviat grans perquè són les que perduren més amb el temps i pràcticament ens assegurem que els següents dies d'observació les tornarem a trobar.

Per a fer les mesures és recomanable triar les taques que estan més centrades a l'eix, perquè un mateix desplaçament $\Delta\alpha$ es tradueix en un desplaçament Δx més gran.

És bo que l'experiment el realitzin diversos alumnes i que es facin servir diverses taques de manera que tingueu força mesures i pogueu minimitzar els errors: errors en el dibuix de la posició de les taques, en traçar les trajectòries, de mesura de les distàncies AB i x , etc. Si el professor ho creu convenient pot fer una discussió del concepte de la mitjana i la dispersió dels valors deduïts per diversos alumnes, del rebuig de mesures molt

discordants, etc, o sigui bàsicament introduir els alumnes als conceptes de tractament estadístic.

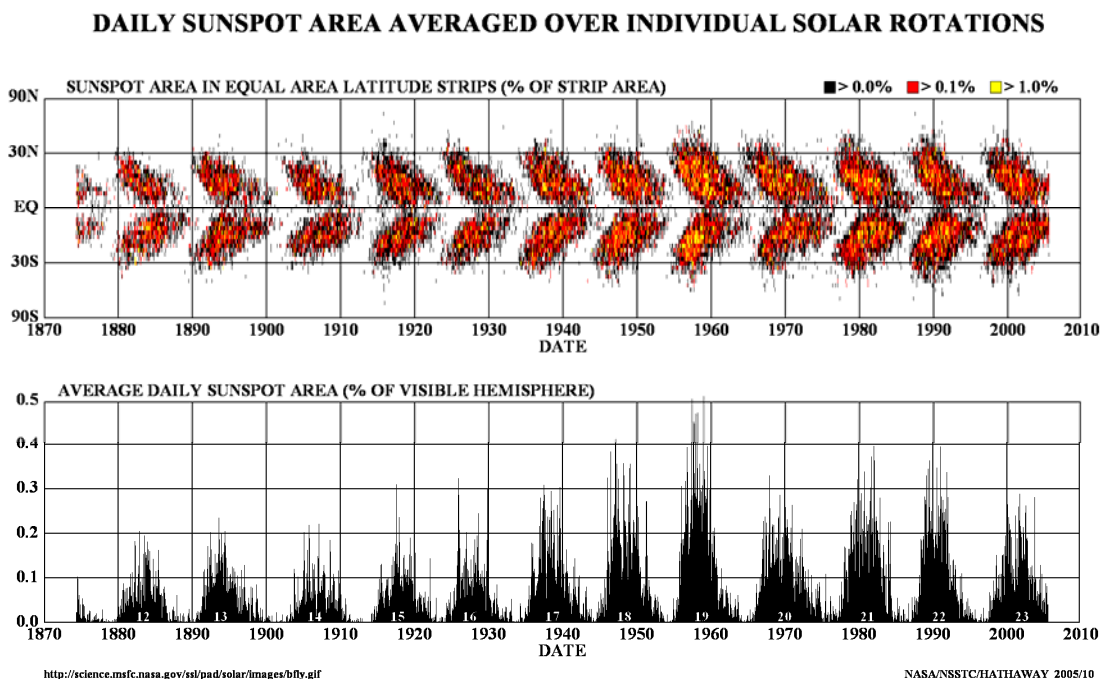
Feu notar als alumnes la inclinació de l'eix de rotació del Sol respecte del nostre equador. Sabent que el nostre equador està inclinat un $23,5^\circ$ respecte de l'òrbita al voltant del Sol, quin angle forma l'equador del Sol i el pla de l'òrbita terrestre ?

2.6 Activitat solar:

Les taques del Sol són una de les manifestacions de l'activitat solar. Aquesta activitat no és permanent sinó que té una periodicitat d'aproximadament 11 anys. És el que s'anomena cicle solar.

- Seleccioneu a l'adreça http://sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query de la missió SOHO, imatges MDI "Continuum" de diversos anys, per exemple el mateix dia de l'any, durant 11 anys, o sigui 11 imatges
- Compareu el nombre de taques en les 11 imatges, la mida de les taques i la seva posició en el disc.

Amb aquest senzill exercici podeu fer notar els alumnes el cicle de 11 anys i el diagrama de papallona: de vegades les taques estan situades prop de l'equador i de vegades a altes latituds.



Distribució de les taques en forma de papallona i cicle d'activitat solar. NASA Copyright

2.7 Aplicacions:

Podeu plantejar un munt d'aplicacions. Per citar-ne algunes:

- Càlcul de la velocitat lineal a la superfície del Sol, amb la rotació que heu deduit i sabent el radi del Sol d'aproximadament 700000 km
- Compareu aquesta velocitat amb la velocitat equivalent a la Terra
- Sabent la massa del Sol (aproximadament 2×10^{30} kg) calculeu la velocitat d'escapament i compareu-la amb la velocitat actual
- Calculeu el mínim període de rotació (màxima velocitat) per tal que el Sol es mantingui com un cos unit
- A partir de les 11 imatges anuals analitzades, feu prediccions de en quins anys ocorren el màxim i mínim d'activitat solar. Busqueu imatges d'aquests anys i comproveu-ho

Podeu fer notar als alumnes que les taques es coneixen des d'abans de la utilització de telescopis perquè de vegades són tan grans que es distingeixen a ull nu.

2.8 Material adicional:

Hi ha força adreces web on podeu trobar imatges del Sol i informació històrica del coneixement i seguiment de les taques. En particular, citem:

- EL projecte Galileo:
<http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>
i els seus dibuixos de taques solars (molt recomanable), on a més d'imatges trobareu animacions de la rotació
http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspot_drawings.html
- Lloc web: Nineplanets:
On podeu trobar pràcticament tota la informació del Sistema Solar, inclòs el Sol
<http://www.nineplanets.org/>
- Missió SOHO: satèl·lit conjunt de les agències americana NASA i europea ESA que es va llançar el 1995 i que observa contínuament el Sol. Podeu utilitzar-lo com a observatori virtual perquè proporciona imatges cada dia.
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>
- Telescopi més gran del món per a l'observació del Sol. Té un metre de diàmetre, és suec i està situat a l'Observatori del Roque de los Muchachos a l'illa de La Palma.
http://www.solarphysics.kva.se/NatureNov2002/telescope_eng.html

GRAVITACIÓ

Introducció

La llei de la gravitació de Newton regeix els moviments dels cossos celestes (deixant de banda els efectes de la Relativitat General). L'observació dels moviments de planetes, satèl·lits, cometes i estrelles, permet deduir les equacions empíriques de Kepler i també determinar les masses dels cossos en moviment.

L'objectiu és proporcionar material al professor per realitzar exercicis per deduir les masses al Sistema Solar i fins i tot al centre de la Galàxia. El professor pot adaptar el nivell dels exercicis i la seva profunditat al nivell del curs que imparteix.



Imatge de Júpiter i els quatre satèl·lits galileans,
tal com s'observa amb telescopis de petites dimensions

Les tres lleis de Kepler i la llei de la gravitació de Newton

En Johannes Kepler va deduir tres lleis per al moviment dels planetes entorn del Sol a partir de les seves pròpies observacions i de les del seu mestre Tycho Brahe. Les tres lleis són:

1. Els planetes descriuen òrbites el·líptiques i el Sol és en un dels focus (Fig 1)

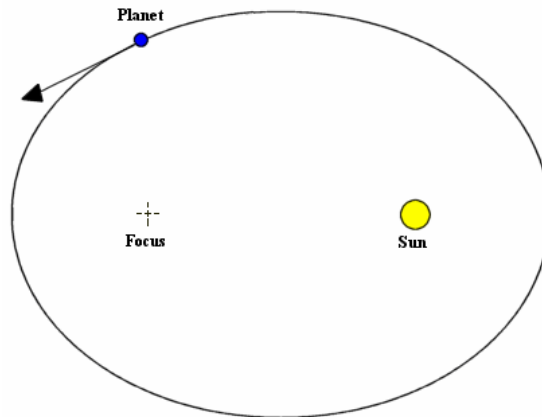


Fig. 1 Òrbita el·líptica d'un planeta a l'entorn del Sol

2. El radi vector que uneix el Sol amb el planeta escombra àrees iguals en temps iguals (Llei de conservació de les àrees, Fig 2):

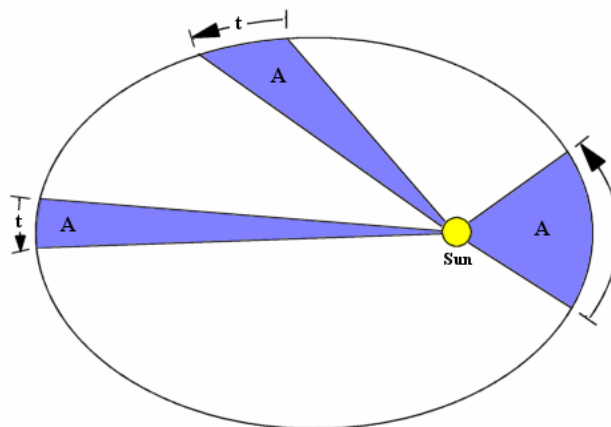


Fig. 2 Representació de la llei de les àrees: les àrees blaves són totes iguals

3. El període P de translació al voltant del Sol al quadrat és proporcional al semieix major de l'òrbita d al cub:

$$P^2 \text{ és proporcional a } d^3$$

Els valors dels períodes P (expressats en anys) i dels semieixos d (expressats en unitats del semieix de l'òrbita de la Terra) de les òrbites els podeu veure a la següent taula:

	$P(\text{anys})$	$d(d_{\text{Terra}})$	P^2/d^3
Mercuri	0.24	0.387	1
Venus	0.615	0.723	1
Terra	1	1	1
Mart	1.88	1.524	1
Júpiter	11.86	5.203	~1
Saturn	29.457	9.539	~1
Urà	84.36	19.24	1
Neptú	165.5	30.14	1

[Aquí el professor pot fer notar les proporcions entre les distàncies mitjanes d , les proporcions entre els anys, pot fer calcular el quocient P^2/d^3 perquè els alumnes comprovin ells mateixos la igualtat de tots els quocients. El professor també pot canviar les unitats suposant per exemple que agafem Mart com a referència i no la Terra.]



Johannes Kepler, 1571-1630



Isaac Newton 1642-1727

La formulació de la llei de la gravitació per part de l'Isaac Newton anys més tard com a

$$\vec{F} = \frac{G M m}{r^3} \vec{r}$$

permet deduir les lleis empíriques de Kepler i les generalitza a qualsevol cas de dos cossos massius que s'exerceixen atracció gravitacional mútua: un planeta i un satèl·lit (natural o artificial), el Sol i un cometa, dues estrelles, etc.

En particular, de la llei de la gravitació es dedueix que si un cos de massa m descriu una òrbita el·líptica de semieix d a l'entorn d'un cos de massa M amb un període P :

$$G (M + m) = \frac{4\pi^2 d^3}{P^2}$$

i si la massa M és molt més gran que m , com en el cas del Sol que és molt més massiu que un planeta, podem menysprear m i llavors:

$$\frac{G M}{4\pi^2} \sim \frac{d^3}{P^2}$$

i per tant, deduïm que P^2 és proporcional a d^3 , que no és res més que la tercera llei de Kepler.

Metodologia:

Els exercicis que proposem són:

1. Determinació de la relació entre la massa de Júpiter i la massa del Sol, mitjançant l'observació del moviment dels satèl·lits de Júpiter
2. Determinació de la massa del forat negre del centre de la Galàxia, mitjançant l'observació del moviment de les estrelles del seu entorn

La primera activitat es realitza mitjançant observacions amb el telescopi. En cas de no tenir telescopi, o en el cas de voler fer una simulació prèvia a la sessió d'observació, és molt útil utilitzar un programa de franc (en anglès) que es pot descarregar des del web del projecte CLEA: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/juplab.html>

1. Observació dels satèl·lits de Júpiter

Aquest experiment combina observació amb càlcul seguint la mateixa metodologia que ja es va seguir al segle XVI i que va permetre de determinar la relació entre la massa de Júpiter i la del Sol.

1.1 Objectius

- Observació dels satèl·lits galileans de Júpiter (Io, Europa, Ganímedes i Cal·listo)
- Determinació dels seus períodes
- Determinació de les distàncies mitjanes al planeta
- Determinació de la massa de Júpiter

1.2 Material

- Telescopi
- Paper per dibuixar-hi a escala (si es fa en paper mil·limetrat o quadriculat és més fàcil) o també es pot fer servir qualsevol programa gràfic d'ordinador
- Calculadora

1.3 Identificació dels satèl·lits

A continuació es dóna un algorisme per calcular l'elongació de cada satèl·lit galileà respecte a Júpiter, en unitats de radis de Júpiter, per a un dia i un temps donats. Un valor positiu de l'elongació significa que el satèl·lit és a l'est de Júpiter, i un valor negatiu, a l'oest.

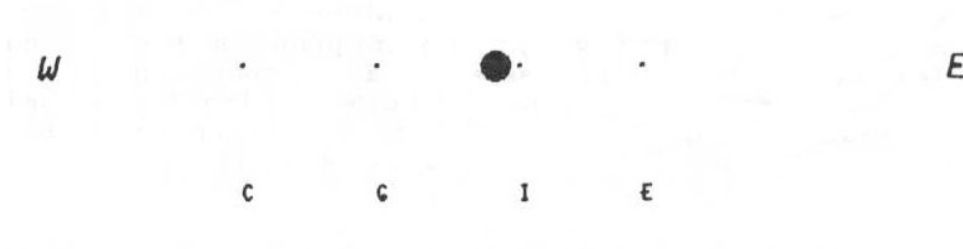


Figura 1.1: Júpiter i els 4 satèl·lits galileans identificats amb les seves inicials

Algorisme:

Entrada	Càlcul	Dades	
ANY(>1988)	$A = ANY - 1989$ $X = 365 * A + INT(A/4)$	MES	M
		1	0
		2	31
MES(1-12)	$X = X + M(MES)$ (valors de la taula) si $(MES > 2$ i ANY bixest) $X = X + 1$	3	59
		4	90

DIA	$X = X + \text{DIA}$	5	120
		6	151
		7	181
	X és el nombre de dies des del 0 gener 1989	8	212
HORA	$T = X + \text{HORA}/24$	9	243
		10	273
MIN	$T = T + \text{MIN}/1440$	11	304
		12	334

Càlcul per a Ió	Càlcul per a Europa
FASE = $203.40586 \cdot (T + 0.7448)$ (graus) E = $6.9 \cdot \text{SIN}(\text{FASE})$ (radis de Júpiter)	FASE = $101.29163 \cdot (T + 2.9205)$ (graus) E = $9.4 \cdot \text{SIN}(\text{FASE})$ (radis de Júpiter)
Càlcul per a Ganimedes	Càlcul per a Cal·listo
FASE = $50.234517 \cdot (T + 5.5280)$ (graus) E = $15 \cdot \text{SIN}(\text{FASE})$ (radis de Júpiter)	FASE = $21.487980 \cdot (T + 4.3926)$ (graus) E = $26 \cdot \text{SIN}(\text{FASE})$ (radis de Júpiter)

Si no es vol fer servir aquest algorisme, el projecte CLEA té un mòdul dedicat a Júpiter que permet de fer les simulacions (<http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/juplab.html>).

1.4 Observació dels satèl·lits

L'observació s'ha de fer cada dues hores per a Ió i Europa; per Ganimedes, durant un mínim de quatre dies amb dues o tres observacions diàries; per Cal·listo un mínim de vuit dies amb una o dues observacions diàries.

Enfoqueu amb el telescopi a Júpiter i als satèl·lits, i mitjançant la predicció que heu fet amb l'algorisme, identifiqueu-los tots. Dibuixeu les seves posicions respecte al planeta en el paper mil·limetrat (o directament sobre ordinador). Mesureu la distància al planeta, en unitats de radis de Júpiter, i anoteu el valor juntament amb el temps en què s'ha fet l'observació a la taula següent:

Distàncies al centre de Júpiter, en radis de Júpiter

Dia	Hora	Ió	Europa	Ganimedes	Cal·listo

1.5 Anàlisi de les observacions

Dibuixeu en una gràfica els valors de les distàncies obtingudes en funció del temps de l'observació, i determineu el valor màxim de la distància del satèl·lit a Júpiter (r_0).

Agafeu dos punts observats de la corba, un a cada costat del màxim, i anoteu els valors de les distàncies, en radis de Júpiter, (r_1 i r_2) i els temps (t_1 i t_2) d'observació (vegeu Fig 1.2).

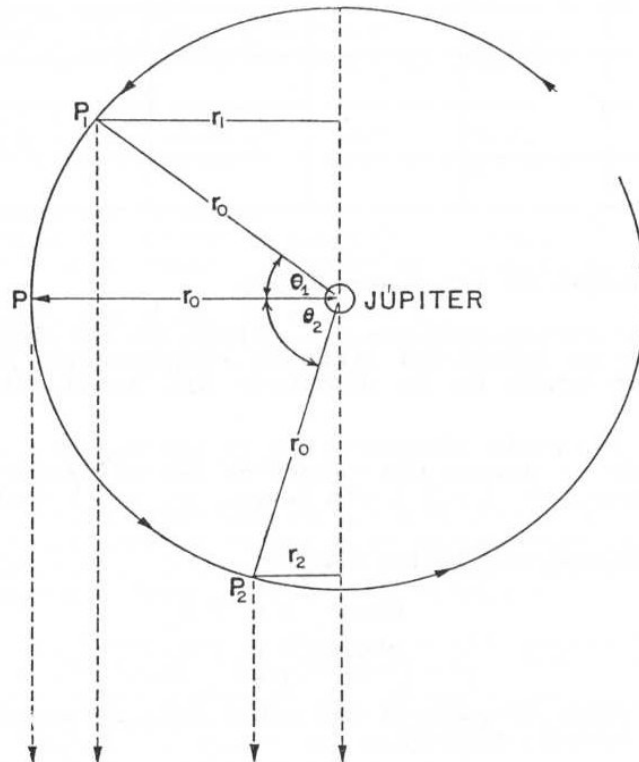


Figura 1.2: Moviment d'un satèl·lit a l'entorn de Júpiter en una òrbita circular

De la figura anterior podem deduir:

$$\cos\theta_1 = \frac{r_1}{r_0}; \cos\theta_2 = \frac{r_2}{r_0}$$

Per a calcular el període del satèl·lit, si suposem una òrbita circular, tindrem:

$$P(\text{dies}) = 360^\circ \frac{t_2 - t_1}{\theta_2 - \theta_1}$$

on els temps s'han d'expressar en dies i fracció de dia. El radi de l'òrbita del satèl·lit al voltant de Júpiter serà:

$$d(\text{km}) = R \cdot r_0$$

on R és el radi de Júpiter, en quilòmetres (71400 km), i r_0 és la distància màxima obtinguda, en radis de Júpiter. Perquè els professors ho tingueu com a referència, els resultats haurien de ser els de les dues primeres columnes de la taula següent (podeu fer-ho amb r_0 o amb d):

	$P(\text{dies})$	$r_0 (R_{\text{Júpiter}})$	P^2 / r_0^3
Ió	1.769	5.91	~66
Europa	3.551	9.40	~66
Ganímedes	7.155	15.0	~66
Cal·listo	16.69	26.4	~66

Podeu fer calcular el quocient P^2 / r_0^3 als alumnes i fer-los notar que el resultat també dona una constant, perquè també regeix la tercera llei de Kepler.

En les observacions visuals l'estimació de la distància dels satèl·lits a Júpiter depèn molt de l'observador: uns tendeixen a sobrevalorar la distància i d'altres a subvalorar-la. És bo que l'experiment el realitzin diversos alumnes de manera que tingueu força mesures i pogueu minimitzar els errors personals. Si el professor ho creu convenient pot fer una discussió del concepte de la mitjana i la dispersió dels valors deduïts per diversos alumnes, del rebuig de mesures molt discordants, etc, o sigui bàsicament introduir els alumnes als conceptes de tractament estadístic.

1.6 Determinació de la massa de Júpiter

Passeu el període P a anys (1 any = 365,2422 dies) i el radi d a unitats astronòmiques (UA) (1 UA = $149,6 \cdot 10^6$ km). La massa de Júpiter la podem calcular mitjançant l'expressió:

$$M = \frac{d^3}{P^2}$$

on M s'obté en masses solars. Calculeu la mitjana de les masses calculades a partir dels diferents satèl·lits.

1.7 Qüestions

- Quines de les lleis de Kepler sobre el moviment planetari s'han fet servir? Quines hipòtesis addicionals sobre la massa i l'òrbita dels satèl·lits galileans s'han considerat?
- Quins són els principals errors comesos en fer l'estimació de les distàncies dels satèl·lits a Júpiter?
- Els estels coneguts amb menys massa tenen una massa de l'ordre de la quarta part del Sol. Quant més massiu hauria de ser Júpiter perquè pogués brillar com un estel?

1.8 Exercicis addicionals

- Podeu passar la massa de Júpiter a kilograms i també la seva relació a la massa de la Terra sabent que $M_{\text{Sol}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 332,932 M_{\text{Terra}}$
- Compareu la força de la gravetat a la superfície de Júpiter amb la de la Terra i la del Sol. Evidentment, podeu comparar amb qualsevol planeta i lluna del Sistema Solar. Per a tenir-ne informació busqueu per exemple al lloc web de "Nine Planets" <http://www.nineplanets.org/>
- Podeu comparar la força d'atracció del Sol sobre de la Terra i sobre de Júpiter
- Podeu prendre l'òrbita d'un cometa i calcular la força atractiva del Sol al periheli i a l'afeli

2. El centre de la Galàxia

La Galàxia que habitem conté 100 mil milions d'estrelles, més gas i pols. Tot plegat està en rotació a l'entorn del centre galàctic. Basant-nos en la tercera llei de Kepler altre cop, o sigui en la llei de la gravitació, calcularem la massa de l'objecte situat al centre galàctic.

2.1 Objectius

- Determinació de la massa de l'objecte central
- Deducció que es tracta d'un forat negre

2.2 Metodologia

- Obtenció d'observacions d'estrelles prop del centre galàctic
- Estudi del moviment d'aquestes estrelles
- Aplicació de la tercera llei de Kepler

2.3 Observacions

No podem observar el centre galàctic amb alta resolució amb els telescopis que tenim normalment al nostre abast. Es requereixen observacions amb telescopis especialitzats i de gran diàmetre. Per això farem servir observacions disponibles a la xarxa.

Per exemple, podem prendre les primeres imatges que es van publicar l'any 2002 per part de científics de l'Observatori Europeu del Sud (ESO), i que es mostren a la Fig. 2.1. El lloc web és: <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2002/pr-17-02.html>. A la figura de l'esquerra es pot observar el conjunt d'estrelles prop del centre. Hi és assenyalada l'estrella anomenada S2. A la figura de la dreta es veu el moviment d'aquesta estrella al llarg de 10 anys.

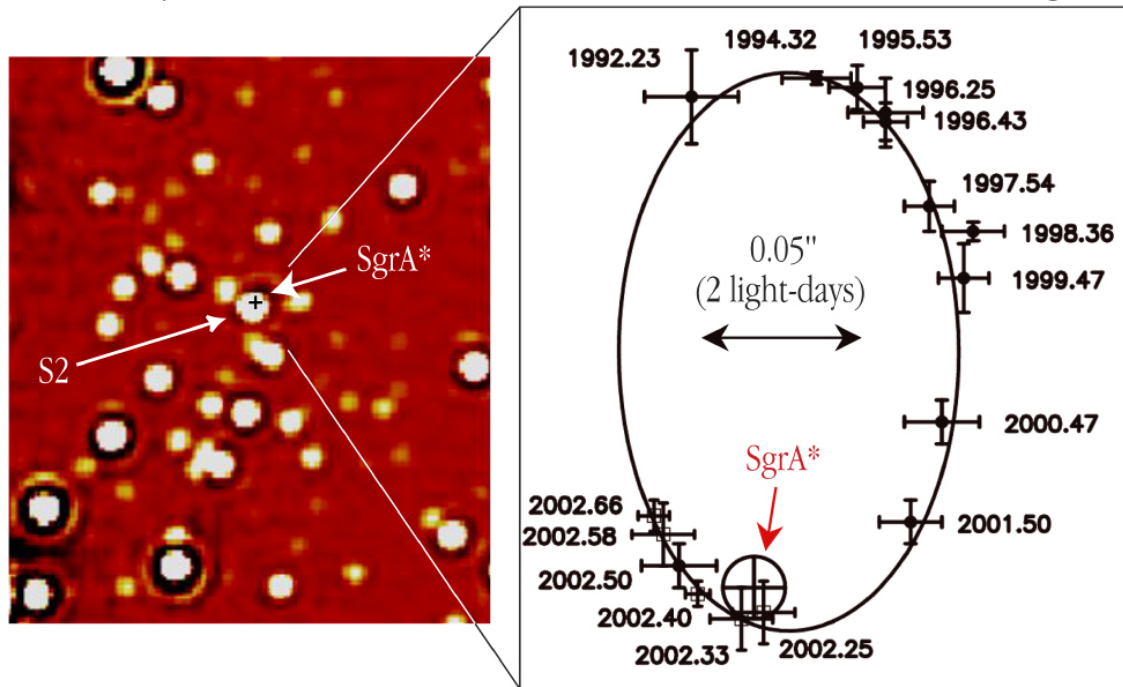
2.4 Determinació de la massa de l'objecte central

Es tracta d'una òrbita el·líptica semblant a la dels planetes a l'entorn del Sol. El càlcul de l'òrbita dona un període de 15,73 anys.

- Mesureu el semidiàmetre de l'òrbita, considerant l'escala que s'indica a la figura (la mida de la sageta equival a l'espai que recorre la llum en 2 dies; la velocitat de la llum és de 300.000 km/s)
- Apliqueu la tercera llei de Kepler, tal com heu fet per al cas de la parella Sol-Júpiter a la parella Centre-Estrella S2
- Deduiu la massa de l'objecte al centre de la Galàxia

NACO May 2002

S2 Orbit around SgrA*



The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way

ESO PR Photo 23c/02 (9 October 2002)

© European Southern Observatory



Figura 2.1: Estrelles prop del centre galàctic i òrbita de l'estrella S2

2.5 Exercicis addicionals

L'objecte central és molt massiu, però no llueix pas com milions de vegades el nostre Sol. De fet, a la Fig 2.1 (esquerra) només es veuen estrelles. És perquè l'objecte central és molt massiu i també molt compacte tracta. Es tracta d'un forat negre.

- Calculeu la distància al centre del forat negre a la qual la velocitat d'escapament és igual a la velocitat de la llum
- Compareu el valor de la gravetat a aquesta distància amb la gravetat a la superfície de la Terra o del Sol

El Sol descriu una òrbita pràcticament circular a l'entorn del centre galàctic amb un radi d'uns 28000 anys llum i amb un període de 250 milions d'anys

- Calculeu la velocitat lineal del Sol
- Quina massa hi ha situada entre el centre galàctic i el Sol per tal que es mogui a aquesta velocitat ?

Bibliografia

Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M. 1993,

Experimentos de astronomía,

Colección Biblioteca de Recursos Didácticos. Alhambra, Madrid, Spain (ISBN 84-205-1717-8), 123 pag (2ª edició)

Estalella, R. 2002,

Teaching Astronomy, How and Why?,

6th International Conference on Teaching Astronomy. Ed. R.M. Ros. Unitat de Formació de Formadors, Universitat Politècnica de Catalunya, 27-42, Barcelona, Spain

Estalella, R., Cid, S., García-Luengo, E., Molins, M., Muntané, M., Padullés, M.C., Trabal, M. 1995,

Astronomía en la escuela,

Colección Dossiers Rosa Sensat, n. 5, Associació de Mestres Rosa Sensat y Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid-Barcelona, Spain (ISBN 84-89149-18-6), 111 pag.

Estalella, R., Jordi, C. 1996,

Meeting with Science: Astronomy,

5th International Conference on Teaching Astronomy. Ed. R.M. Ros. ICE Universitat Politècnica de Catalunya, 117-119, Barcelona, Spain

Estalella, R., Jordi, C., Rosselló, G., Sanahuja, B., Cid, S. 1992,

Mirant el cel,

Col·lecció Trobada amb la Ciència, n. 69. CIRIT, Generalitat de Catalunya, Spain



ISBN 848754318-9



9 788487 543180