

ÍNDEX

Introducció	4
1. Objectius del treball	7
PART TEÒRICA I D'APRENTATGE	8
2. L'astronomia una ciència clau per al coneixement humà	9
3. L' Astronomia al llarg de la història.	9
3.1. L'astronomia a l'antiguitat	9
• L'astronomia en les grans civilitzacions antigues	11
• L'astronomia a Mesopotàmia	
• L'astronomia a Egipte	
• L'astronomia a Grècia i el món hel·lenístic i grecoromà	
• L'astronomia a l'Índia	
• L'astronomia a Xina	
• L'astronomia a l' Amèrica precolombina	
• L'astronomia al món àrab	
3.2.L'astronomia científica.	21
• Abans de l'astronomia científica: l'Edat Mitjana.	21
• L'Edat Moderna	
3.3.L'astronomia en els nostres dies	27
• L'astronomia a l'època contemporània	27
• Perspectives de futur	
4. Introducció a la mecànica celeste	30
4.1. Els moviments de la Terra	30
4.2. L'esfera terrestre	33
4.3. L'esfera celeste	34
4.4. Els sistemes de coordenades	35
5. L'observació astronòmica.	38
• Un observatori astronòmic. Característiques	40
• L'observatori de l'INS Maria Rúbies	
6. Els telescopis.	45
PART PRÀCTICA	51
7. Recursos i metodologia de treball	52
8. Treball de camp	60



9. Mapa lunar	72
10. Conclusions	74
Agraïments	76
Bibliografia	77
Annexos	79
Annex I. Diari d'observació	80
Annex II. Fases de la lluna durant els dies d'observació.	82



INTRODUCCIÓ

Perquè he fet aquest treball?

El procés de realització d'un treball de recerca no deu ser mai senzill. S'inicia amb una idea que fa temps que et volta pel cap, amb un suggeriment, amb un dubte sobre un tema o amb la necessitat imperiosa d'aprofundir en un tema d'interès. En el meu cas, es podria dir que es tracta d'una barreja de totes. Sempre he sentit interès per les estrelles. Hem fascina la visió d'un cel estrellat o de la Lluna plena i volia introduir-me i aprofundir en el món que envolta l'astronomia. Tenia clar que volia estudiar l'astronomia des del punt de vista d'un treball científic però afegint-hi el toc humanista que crec que sempre m'ha acompanyat. Així doncs, sent una persona totalment neòfita en el món de l'astronomia vaig proposar al meu centre la realització d'aquest treball.

Aquest treball de recerca és i ha estat un objecte canviant. Són poques les idees amb les quals vaig iniciar el treball i que he mantingut sense alterar. Les idees més bàsiques que es presentaren com a primera aproximació al possible esdevenir del treball, aquelles que suraven en el brou primordial del qual parlava Oparin, han evolucionat fins convertir-se en el producte que trobareu en les pàgines següents. Com en tota evolució, no ens hem pogut mostrar indiferents davant del concepte de selecció natural, aplicat a les múltiples idees que sorgiren. I és en aquest punt, havent acabat ja el treball que continuo veient-lo buit. Buit de totes aquelles idees en les quals m'hauria agradat aprofundir i que malauradament van acabar desapareixent enmig d'una llarga cadena evolutiva. I segurament deu ser aquest un dels principals motius pels quals vaig realitzar aquest treball, ja que no és un camí amb un final marcat, sinó que davant meu s'obre un enorme ventall de plans de futur.

En la frase que dóna inici al paràgraf anterior hi ha una paraula que té molta importància: és. Quan dic que el present treball està canviant parlo de totes aquelles idees que no he pogut portar a terme i de l'emoció que em provoca la idea de poder descobrir cada dia més sobre el món de l'astronomia, en pensar en la possibilitat de donar-los vida. Si al principi m'haguessin demanat el perquè d'aquest treball no crec que hagués sabut contestar ja que encara era desconegut per a mi. De fet, segurament hauria respost d'una forma complexa que ni jo mateix hauria cregut. Ara, puc afirmar que vaig fer aquest treball pel simple fet que, després de passar un més sortint a les nits al terrat de casa fins tard, dormint poc i passant fred, continuo tenint ganes de sortir al carrer i mirar les estrelles i la Lluna.

Sobre com ha progressat aquesta obra

En un principi, l'objectiu principal d'aquest projecte era realitzar un estudi sobre astrofísica. A mesura que avançava en la lectura de documents, vaig veure que



el treball cap al qual ens estàvem dirigint, no s'adaptava a les idees que m'havia marcat, ja que buscava una base molt diferent en la qual tinguessin un espai les meves idees de mentalitat més humanista sobre el cel, les estrelles i la Lluna. És així que, per donar resposta a aquesta necessitat personal, vam decidir fer una introducció a l'astronomia, en la qual s'expliquessin els principals conceptes relacionats amb la mateixa.

El present estudi representa un amalgama dels dos blocs d'idees (el científic i l'humanista) pels quals em sento atret i s'ha anat definint d'una forma molt influent per l'elecció final de la part pràctica, això és la realització d'un mapa lunar. I és que, els apartats en els quals es tracta sobre l'observació astronòmica o els telescopis, segurament no haurien existit si no hagués realitzat el mapa de la Lluna. I és en aquest punt, en el qual sento recança pel fet d'haver hagut d'eliminar l'apartat relacionat amb les constel·lacions i la mitologia i folklore que les envolta. Una veritable llàstima i un projecte que em queda pendent i tinc la intenció d'iniciar el més aviat possible.

Si més no, crec que aquest treball m'ha aportat una sèrie de coneixements i experiències positives que han fet canviar la meva visió del món. No diré que aquest projecte ha estat un fet transcendental en la meua vida, però sí que puc afirmar que m'ha ajudat a créixer com a persona ni que sigui només un parell de centímetres. La veritat, això és tot el que podia esperar.

Sobre què trobareu en aquest treball

Aquest treball pretén ser una introducció al fascinant món de l'astronomia. S'han intentat tractar els principals camps que comprenen l'astronomia d'una forma planera i entenedora per tal de que puguin ser llegits i entesos per qualsevol persona que tingui un cert interès o si més no, que senti curiositat per aquesta ciència mil·lenària.

El treball es divideix fonamentalment en dos parts: una de teòrica i una altra de pràctica:

La part teòrica s'inicia amb l'apartat "L'astronomia al llarg de la història". Des de la prehistòria fins a l'actualitat, mostrant la perspectiva històrica de totes les cultures que han influenciat en el desenvolupament de l'astronomia com a ciència.

L'apartat següent tal com indica el seu nom "Introducció a la mecànica celeste" serveix com a introducció a l'astronomia de posició i la mecànica celeste. En aquest apartat, s'introdueixen els conceptes d'esfera terrestre i celeste i són desenvolupats intentant explicar els conceptes bàsics sense que resulti massa pesat. Es parla dels moviments de la Terra i de les coordenades tant terrestres



com celestes així com dels sistemes utilitzats per marcar les mateixes.

Per acabar la part teòrica, segueixen dos apartats força relacionats: “L'observació astronòmica” i “Els telescopis”. En el primer, es parla de què és una observació astronòmica, dels factors que influeixen en la mateixa i de la forma adient de realitzar-la. En la part final s'assenyalen les característiques d'un observatori astronòmic i es narra la visita que vam realitzar a l'observatori de l'Institut Maria Rúbies. En el segon apartat, s'introdueixen els diferents tipus de telescopis, les parts que els formen i les diferents característiques i paràmetres que delimiten l'ús i la funcionalitat d'un telescopi.

La part pràctica, consta bàsicament de dos apartats: en el primer, “Recursos i metodologia del treball” es comenta el material i els programes utilitzats, el suport tècnic rebut i els mètodes i consignes que s'han seguit a l'hora de seleccionar, redactar i dur a terme els apartats tant de tipus teòrics com pràctic. Finalment, es parla del diari de camp i dels passos que s'han seguit per a la realització del mapa de la Lluna.

En l'apartat “Treball de camp”, s'aprofundeix en el procés seguit durant el procés pràctic: s'explica com s'han realitzat les observacions, els problemes que s'han trobat, l'assessorament i solucions que s'han obtingut a l'hora de resoldre aquests problemes i les directrius que s'han seguit en la presa, selecció i tractament de les imatges per tal de crear el mapa de la Lluna en format bloc.

El treball de recerca acaba amb un seguit de conclusions a les quals hem arribat durant la realització del treball i amb la bibliografia, webgrafia i un seguit d'annexos.

Per acabar, volia assenyalar que per a la redacció de l'apartat pràctic, especialment quan he relatat el procés de treball, he utilitzat la primera persona del plural, he entès que aquesta és una llicència narrativa que s'adeia en el context.

Tot i que aquest treball pretén ser una introducció al món de l'astronomia, sóc conscient que no s'han tractat tots els temes que conflueixen en aquesta àmplia ciència. Perquè tot i ser la ciència més antiga, té una enorme vitalitat i voluntat de continuar creixent i avançant, i, aquest és un dels elements que fan que sigui una ciència tant atractiva per mi. I això reverteix en una amplíssima varietat de camps d'estudi. I és que, mentre quedi una sola partícula d'aquest univers per observar, fotografiar o estudiar, l'astronomia continuarà sent una ciència viva i en moviment que, parafrasejant a un popular personatge d'una pel·lícula d'animació, sempre mira “cap a l'infinit, i més enllà”.



1. OBJECTIUS DEL TREBALL

A l'hora de realitzar el treball de recerca m'he marcat els següents objectius:

- ✓ Tenir més coneixements sobre el món de l'astronomia: en especial, sobre la seva història, el seu desenvolupament i la importància d'aquesta ciència per a la humanitat.
- ✓ Conèixer les característiques principals d'un observatori astronòmic; i determinar els instruments i factors necessaris per a la observació.
- ✓ Tenir el coneixement necessari per tal de poder realitzar una observació astronòmica de forma adient.
- ✓ Realitzar un mapa de la lluna mitjançant l'ús d'un telescopi i d'una càmera fotogràfica.
- ✓ Identificar diferents elements geològics presents en el satèl·lit i fotografiar-los.
- ✓ Crear una pàgina web amb l'objectiu de visualitzar algunes de les parts més significatius de la lluna.



Part teòrica



2. L'ASTRONOMIA UNA CIÈNCIA CLAU PER AL CONEIXEMENT HUMÀ

L'astronomia és una de les ciències més antigues de la història, probablement la més antiga. Els seus orígens es remunten a la prehistòria, el seu desenvolupament és paral·lel a la història mateixa de l'home i ha provocat interès en tot el planeta. Malgrat que l'astronomia com a ciència ha avançat de forma trepidant i està a un nivell completament superior al de l'antiguitat, la visió d'un enorme cel estrellat, d'un eclipsi solar o del pas d'un cometa, avui en dia continua fascinant l'home en la mateixa mesura que ho feia fa més de 4000 anys.

Podem definir l'astronomia, ja de forma més científica, com la ciència que es dedica a l'estudi de l'univers i dels cossos celestes (com poden ser estrelles, planetes, cometes, nebuloses, cúmuls estel·lars o galàxies) i dels fenòmens que s'originen fora de l'atmosfera terrestre. És una ciència que tracta una gran diversitat de temes com la física, la química, la meteorologia, el moviment dels cossos celestes o la formació i desenvolupament de l'univers.

Aquesta diversitat temàtica implica que dintre de l'astronomia existeixen un gran nombre de branques, en aquest treball, però, ens centrarem principalment en la història i desenvolupament de l'astronomia de forma generalitzada i en un estudi bàsic de la mecànica celeste.

A més, introduïrem els coneixements necessaris per la realització d'una observació astronòmica correcta, centrant en especial atenció als diferents tipus de telescopi i els fets principals a considerar en una observació.

3. L'ASTRONOMIA AL LLARG DE LA HISTÒRIA



Stonehenge (Gran Bretanya)
(<http://www.en.wikipedia.org>)

3.1. L'Astronomia en l'antiguitat

El naixement de l'astronomia es remunta en el temps fins a la prehistòria, que és quan trobem les primeres evidències relacionades amb l'astronomia amb construccions com Stonehenge, les taules menorquines, i tantes



d'altres. Per una altra banda, les grans civilitzacions de l'antiguitat com la babilònica, la grega, la xinesa, la índia, l'aràbiga o la maia van demostrar interès en la ciència i van ser capaces de realitzar observacions molt metòdiques i àmplies del cel nocturn.

Les cultures més ancestrals solien identificar els cossos celestes amb déus i esperits. Relacionaven aquests objectes i el seu moviment amb fenòmens com la pluja, les sequeres, les estacions o les marees. És una certesa la idea que afirma que els primers astrònoms “professionals” van ser sacerdots i que la seva comprensió del cel era vista com a divina.

En aquella època s'establia una estreta relació entre l'astrologia i l'astronomia: en la seva concepció de l'univers, no podien existir l'una sense l'altra i, de mateixa manera, l'estudi d'una implicava el d'ambdues. Estructures antigues com Stonehenge eren utilitzades segurament amb finalitats tant astronòmiques com religioses.

Es creu que podien ser emprades per determinar les estacions, un factor d'importància cabdal per a la supervivència dels grups ja que la seva capacitat d'obtenir aliments venia marcada pel fet de poder preveure i conèixer les migracions animals o bé a l'hora de saber el calendari per tenir cura dels conreus. A més a més, van ser utilitzades per tal de poder desenvolupar calendaris.

Un altre exemple d'aquest tipus de construccions són les taules menorquines pertanyents a la cultura talaiòtica. Construïdes al voltant de l'any 1000 aC i formades per un conjunt de tres pedres, mostren una pedra plana col·locada verticalment, un pedra de suport i una tercer bloc, col·locat horitzontalment al



damunt, conegut amb el nom de capitell. A més del seu ús

Taula de Talatí de Dalt, una de les més espectaculars per la seva mida (Menorca) (<http://www.talayots.es>)

religiós, la gran majoria es troben orientades cap al sud, de tal forma que permeten l'observació de l'horitzó marítim ja que en l'època en què es van construir s'hi podien visualitzar un gran nombre d'estrelles brillants com la Creu del Sud o les estrelles alfa i beta de Centaure.

Aquests elements van ser una gran ajuda per permetre la creació dels primers calendaris, els quals van ser establerts mitjançant l'ús del Sol, de la Lluna i de les estrelles per tal de mesurar dies, mesos i anys. Com a mostra de la importància que van tenir aquestes primeres cultures en l'avenç de l'astronomia, podem prendre com a exemple el calendari actual o Gregorià. Aquest està fonamentat en el Calendari Julià o Romà que divideix l'any en 12 mesos alternant mesos de 31 i 30 dies; va ser adoptat per Juli Cèsar l'any 46 aC i estava basat en un any de $365\frac{1}{4}$ dies proposat originalment per l'astrònom grec Callipus. Aquests models, però, no són més que una modificació i perfeccionament del calendari civil egipci ja utilitzat al tercer mil·lenni aC.

3.2. L'astronomia en les grans civilitzacions antigues

L'astronomia a Mesopotàmia

Els orígens de l'astronomia occidental els trobem a l'antiga Mesopotàmia, la terra entre els rius Tigris i Eufrates, on hi havia els regnes de Sumèria, Assíria i Babilònia. La història de l'astronomia a Mesopotàmia comença amb els sumeris, que van idear el primer sistema d'escriptura (conegut com a cuneïforme) entre el 3500 i el 3200 aC. Els sumeris van desenvolupar una forma d'astronomia que va tenir una important influència en la sofisticada astronomia dels babilonis. L'astrolatria, o adoració dels cossos celestes com a deïtats o representacions de les mateixes, es va originar amb els sumeris i va tenir una paper important en la religió i mitologia mesopotàmica. A més, també van desenvolupar un sistema numèric sexagesimal basat en la posició dels nombres que va permetre una gran simplificació de les tasques d'escriptura de nombres grans i petits i que encara perdura avui en dia en fets tals com la divisió dels cercles en graus, minuts i segons cada un i en les hores de 60 minuts i 60 segons.



MUL.APIN, catàleg estel·lar sumeri
(<http://www.astrosuf.com>)

El nostre coneixement de l'astronomia sumèria ens arriba de forma indirecta a través dels primers arxius babilonis sobre estrelles que daten del 1200 aC, on molts dels noms apareixen escrits en sumeri. Coneguts com a catàlegs d'estrelles babilonis, aquests textos escrits amb escriptura cuneïforme contenen llistes de constel·lacions, estrelles individuals i planetes probablement extrets de diverses fonts entre les quals en trobem d'accàdies,



amorrites i elamites entre altres. Un dels més importants és el MUL.APIN, que conté catàlegs d'estrelles i constel·lacions i esquemes per predir fenòmens d'ortus helíacs i ajustaments dels planetes, la durada del dia mesurada amb rellotges d'aigua, gnòmons, ombres i intercalacions de dies en el calendari.

Els babilonis van ser també els primers en descobrir que els fenòmens astronòmics eren periòdics i a utilitzar les matemàtiques en les seves prediccions. Diverses tablettes que daten del període babiloni antic documenten l'aplicació de matemàtiques per calcular la variació de la durada del dia durant l'any. Diversos segles d'observacions de fenòmens celestials van ser gravats en una sèrie de tablettes cuneïformes conegudes com a *Enûrma Anu Enlil*. La tableta més antiga que posseïm és la *Tableta de Venus d'Ammisaduga*, on trobem una llista de les últimes observacions visibles de Venus en un període de 21 anys. Aquesta és la evidència més antiga del reconeixement com a periòdics de fenòmens planetaris. Fonts clàssiques gregues i llatines utilitzen el terme Caldea per referir-se als astrònoms de Mesopotàmia que, en realitat, eren sacerdots-escrivans especialitzats en astrologia i altres formes d'endevinació.

Durant els segles VIII i VII aC, els astrònoms babilonis van desenvolupar una nova forma empírica d'enfocar els estudis sobre astronomia. L'enregistrament sistemàtic de diversos fenòmens en diaris astronòmics van permetre descobrir el cicle repetitiu de 18 anys d'eclipsis lunars entre altres. Segons Ptolomeu, les primeres observacions útils van començar en aquesta època. Les últimes etapes de desenvolupament de l'astronomia babilònia van tenir lloc durant l'Imperi Selèucida (del 323 al 60 aC) quan van començar a utilitzar compilacions d'observacions per tal de trobar repeticions de fenòmens per cada planeta.

L'astronomia a Egipte

L'astronomia egípcia té els seus inicis en la prehistòria. El fet que els cercles de pedres de Nabta Playa (una construcció megalítica que mostra una mena de calendari circular amb alineacions d'estrelles) fossin construïts l'any 5000 aC, ens permet fer-nos una idea de la importància de l'astronomia en la vida religiosa de l'Antic Egipte. Els egipcis van observar que les estrelles realitzaven un gir complet en poc més de 365 dies. Aquest descobriment ve marcat per la inundació anual del Nil, que s'inicia poc després de l'ortus helíac de Sothis, la nostra Sírius (durant una part de l'any, Sírius deixa de ser visible a causa de la seva proximitat angular al sol. La primera reaparició d'una estrella poc abans de la sortida del sol després de no ser visible durant un cert temps, rep el nom d'ortus helíac).



La inundació anual del Nil era d'un interès vital per al desenvolupament de la vida dels egipcis ja que permetia la recuperació dels minerals del sòl gràcies a la pujada del nivell de l'aigua i marcava el cicle tant de conreu com de recol·lecció de les collites. Per aquest motiu, no és estrany que, el període de 365 dies entre cada sortida heliacal de Sírius i, per tant, punt d'inici de la inundació del Nil, marquès l'inici de l'any egipci ja abans del 2500 aC. Aquest fet ens permet suposar que els egipcis ja realitzaven observacions astronòmiques de forma sistemàtica des del quart mil·lenni aC

La precisa orientació de les piràmides egípcies proporciona una demostració molt clara de l'alt nivell d'habilitat tècnica en l'observació del cel ja en el tercer mil·lenni aC. S'ha demostrat que les piràmides estaven alineades en direcció a l'estrella polar que, a causa de la precessió dels equinoccis, en aquella època era Thuban. Això permetia calcular l'inici de les estacions mitjançant la posició



Les Piràmides estan disposades de manera que permeten calcular l'inici de les estacions (<http://www.paleorama.wordpress.com>)

de l'ombra de la piràmide. A més, s'ha demostrat que el Gran Temple d'Abu Simbel estava alineat amb la sortida del sol el dia del solstici d'hivern cosa que permetia que la llum il·luminés pràcticament la totalitat de l'interior del temple aquell dia.

Com ha estat comentat anteriorment, l'astronomia tenia un paper molt important en el fet religiós, com per exemple en el moment de determinar les dates de les festivitats i les hores de durada de la nit. Diversos manuscrits conservats en temples mantenien registres del moviment i de les fases del sol, la lluna i de diverses estrelles. A més, l'ortus helíac de Sírius en relació amb la crescuda del Nil era vist com l'arribada anual del déu Hapi.

Gràcies a la conquesta d'Egipte per part d'Alexandre el Gran, l'astronomia egípcia es va fusionar amb l'astronomia grega i babilònica i la ciutat d'Alexandria es va convertir en el centre de l'activitat científica de la civilització hel·lenística. Després de la conquesta romana, Alexandria va passar a ser el centre científic de tot l'Imperi Romà amb astrònoms de la talla de Ptolomeu, treballant a la mateixa ciutat. Les idees que transmetia l'astronomia ptolomeica

es van convertir en comuns tant en l'astronomia occidental medieval com en l'astronomia islàmica.

Aquesta adopció d'idees per part dels musulmans ve condicionada per la conquesta que van dur a terme sobre Egipte i per la creació d'un califat a la zona del Caire i que va competir de forma activa per esdevenir el centre científic del món islàmic amb la ciutat de Bagdad. D'aquesta època destaquen astrònoms com Ibn Yunus o Ali Ibn Ridwan.

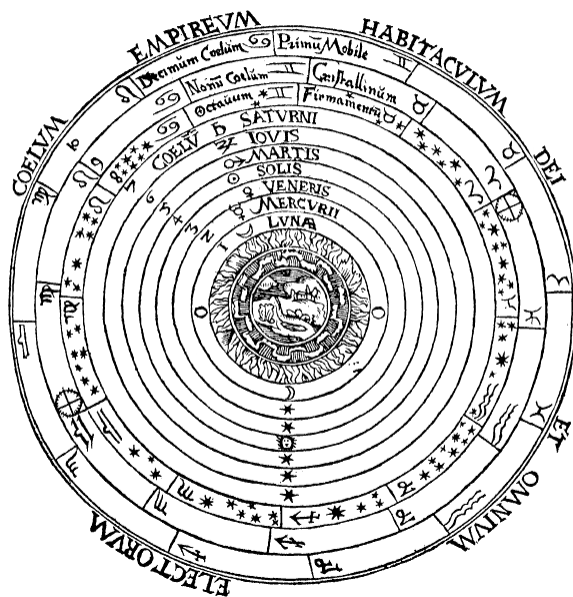
L'astronomia a Grècia i el món hel·lenístic i grecoromà

Una de les cultures més rellevants en la història de l'astronomia és, sense cap mena de dubte, la cultura grega; els grecs van afavorir el seu desenvolupament, cosa que ens porta a referir-nos a l'època hel·lènica com una de les més importants en la història de l'astronomia. L'astronomia neix com a ciència pròpiament dita amb Tales de Milet i amb seu deixeble Anaximandre, els quals van introduir la racionalitat i la geometria en un esforç d'entendre l'univers i la relació de l'ésser humà amb ell mateix. Aquests trets van marcar tota l'astronomia grega, que es caracteritza des dels seus inicis per la recerca d'explicacions físiques racionals dels fenòmens celestes.

Cal destacar que quan parlem de l'astronomia grega ens referim a tot el món hel·lenístic i no només a la zona geogràfica de Grècia, justament, per aquest motiu l'anomenem astronomia hel·lenística. Trobem un clar exemple d'aquest fet quan veiem que durant el període hel·lenístic i romà, molts dels astrònoms eren formats a la ciutat d'Alexandria, tal i com ha estat comentat en l'apartat referit a Egipte. Entre aquests astrònoms, destaca Claudi Ptolomeu, qui visqué i treballà tota la seva vida a la ciutat d'Alexandria i fou autor del tractat astronòmic conegut amb el nom d'Almagest, el qual fou utilitzat com a model per astrònoms de tot el món durant molts segles gràcies a les traduccions fetes a l'àrab. És per tant, en aquest període grec, durant el qual comença a desenvolupar el que coneixem actualment com a astronomia occidental.

Els astrònoms grecs buscaven crear models geomètrics que els permetessin entendre el moviment dels cossos celestes i la naturalesa de l'univers. El model de dues esferes, és un dels més importants d'aquesta època. En aquest model, l'univers es mostra format per una part fixa i central (la Terra), i una part mòbil formada per la resta de cossos celestes entre els quals trobem la Lluna, el Sol i els planetes del sistema solar i un gran nombre d'estrelles, els quals giren al voltant de la Terra (que és totalment esfèrica) en diversos cercles a una velocitat constant.





Il·lustració medieval del sistema geocèntric de Ptolomeu
(<http://fr.newikis.com/Fichier:Ptolemaicsystem-small.png.html>)

El model geocèntric va ser considerat com a vàlid en diverses formes fins al s. XVI. Encara que aquest model va ser acceptat com a vàlid pels filòsofs grecs, Aristarc de Samos, un astrònom i matemàtic grec, al s.III aC ja va proposar un model heliocèntric on era la Terra la que girava al voltant del Sol i on afirmava que l'alternança del dia i la nit es produïen pel moviment de rotació de la mateixa.

En aquesta època trobem un gran nombre d'astrònoms importants, entre els quals cal destacar entre d'altres: Aristarc de Samos, qui, a més de crear el model heliocèntric que ha estat mencionat en el paràgraf anterior, mitjançant mètodes extraordinàriament intel·ligents va poder calcular la distància de la Terra a la Lluna i de la Terra al Sol amb tot els càlculs no eren massa acurats, a causa de la manca de precisió en les mesures. Eratòstenes de Cirene, qui va calcular d'una forma molt precisa la circumferència completa de la terra. Hiparc de Nicea, qui va crear el primer catàleg estel·lar en el qual va recollir la posició i les magnituds de 850 estrelles amb una precisió que no va ser superada fins al segle XVI per Tycho Brahe. A més a més, va establir l'escala de magnituds estel·lars i va descobrir la precessió dels equinoccis.

L'astronomia a l'Índia

Com en moltes altres cultures, l'astronomia índia s'inicia amb unes clares aplicacions religioses. L'astronomia hindú estava molt influenciada pel món hel·lenístic tal i com hem mencionat anteriorment. Aquestes influències venien marcades principalment per traduccions de textos grecs com el Yavanajataka, una traducció d'un text grec del segle II.

En un principi, es va desenvolupar com una de les disciplines auxiliars relacionades amb l'estudi del Vedas, un seguit de textos sagrats que formaven la base de la religió vèdica anterior a l'hinduisme. Això ens portaria a anomenar-la amb la terminologia actual amb el nom d'astrologia i no d'astronomia. Aquestes primeres observacions, eren utilitzades per tal de cobrir una sèrie de requeriments sobre els correctes espais i moments de realització

dels rituals religiosos. Entre altres, aquests requeriments establien des de els mecanismes per a la construcció d'altars fins a l'hora en què s'havien de dur a terme els rituals i els sacrificis.

L'astronomia antiga índia estava basada en un seguit de càlculs siderals. L'astronomia sideral es basa en les estrelles; això fa que entenguem com a període sideral el temps que tarda un objecte a fer una volta sencera al voltant del sol en relació a les estrelles. En un dels textos vèdics conegut com a Vedanga Jyotisha, es descriuen certes normes a seguir per tal de poder fer un seguiment del moviment del Sol i de la Lluna per a la correcta realització dels rituals.

És durant l'Imperi Sunga (185-75 aC) quan tindrà lloc "l'Edat d'or" de l'astronomia índia ja que es van desenvolupar càlculs del moviment i posició de diversos planetes, la seva sortida i la seva posta, conjuncions i càlculs d'eclipsis.

Després de l'influència per part de l'astronomia hel·lenística que va portar a l'adopció dels signes del zodíac, s'inicia un procés de desenvolupament que conduirà a l'era clàssica de l'astronomia índia, durant els segles V i VI dC. El primer i més important astrònom d'aquesta època fou Aryabhata, qui va proposar un sistema computacional basat en un model planetari heliocèntric en el qual la terra girava sobre el seu propi eix i els períodes dels planetes eren donats respecte el del Sol. A més a més, ja afirmava que els planetes seguien òrbites el·líptiques i no circulars.



Va calcular d'una forma molt precisa moltes constants astronòmiques entre les quals trobem tant el radi com el volum de la terra, períodes de diversos planetes, el temps dels eclipsis tant solars com lunars o el moviment de la lluna. A tall d'exemple, podem explicar que Aryabhata va calcular el període de rotació de la terra donant com a valor 23 hores, 56 minuts i 4'1 segons (el valor acceptat com a vàlid actualment és de 23 hores, 56 minuts i 4'091 segons). També va calcular la durada de l'any sideri donant-li un valor de 365 dies, 6 hores, 12 minuts i 30 segons, cometent un error de només 3 minuts i 20 segons.

Aryabhata, l'astrònom indi més reconegut (<http://en.wikipedia.org>)

El seu llibre *Aryabhatiya*, va representar el punt més àlgid dels coneixements astronòmics de la època i va tenir una influència molt significativa en l'astronomia medieval islàmica. La tradició astronòmica índia es va mantenir activa durant tot el període medieval fins als segle XVII, especialment entre els membres de l'escola d'astronomia i matemàtica de Kerala.

L'astronomia a la Xina

L'astronomia xinesa té uns orígens molt antics i la seva història és molt llarga. Citant l'historiador Joseph Needham, “ells [els xinesos] van ser els observadors més persistents i acurats dels fenòmens celestials de tot el món fins als àrabs”. El fet de que no arribessin influències de l'astronomia occidental a Xina fins a finals del segle XVI, ens porta a parlar d'una astronomia molt diferent a la coneguda a occident.

Aquesta manca de contacte va portar als xinesos a tenir un sistema de constel·lacions i de signes del zodíac diferent dels utilitzats en l'astronomia occidental. Aquest sistema estava format per un total de vint-i-vuit mansions entre les quals dividien l'univers i la ubicació dels astres i de les constel·lacions.

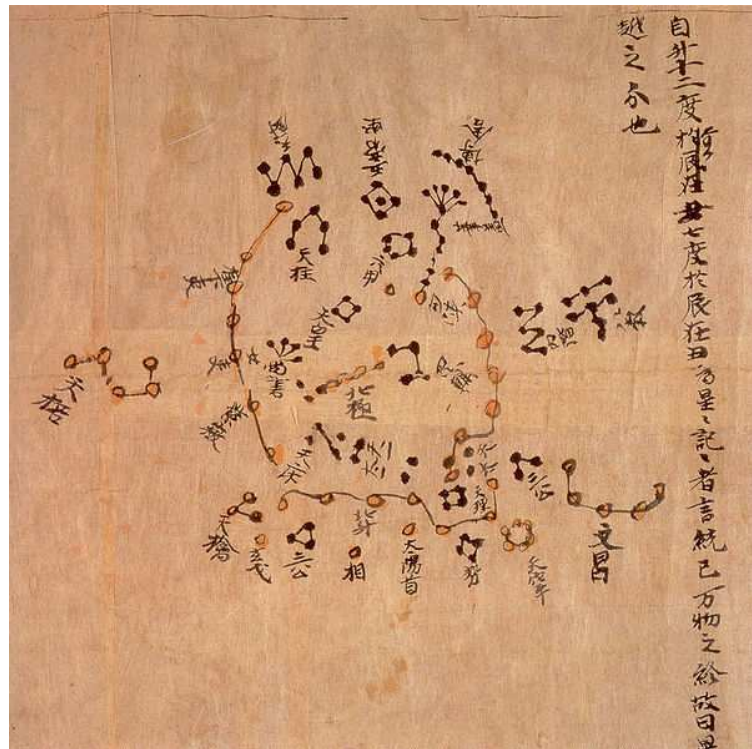
L'enregistrament de forma detallada de les observacions astronòmiques s'inicia al segle IV aC i va florir a partir de la dinastia Han. L'astronomia xinesa, gràcies a la seva situació geogràfica, permetia una estreta observació dels estels circumpolars i aquest, és un dels fets que van portar a tenir uns principis diferents dels què prevalien en l'astronomia occidental, tal i com ha estat comentat anteriorment.

En el seus inicis, la major part de l'astronomia xinesa tenia el propòsit de mantenir una correcta relació del temps ja que els xinesos utilitzaven un calendari lunisolar. Aquests calendaris indiquen el temps, prenent en consideració tant les fases del sol com les de la lluna. Però a causa de les diferències en els cicles d'ambdós cossos celestes, calia utilitzar cicles bixests cada 19 anys per tal de mantenir-los igualats.

La divinació també era una part important de l'astronomia xinesa. Això va portar als astrònoms xinesos a mantenir una acurada anotació dels fenòmens celestes que tenien lloc com podien ser les explosions de supernoves o el pas de cometes.



També van crear diversos catàlegs d'estrelles i de constel·lacions que contenien centenars de constel·lacions i milers d'estrelles, van realitzar mapes d'estrelles, entre els quals trobem el mapa de Dunhuang, que mostra la totalitat del cel i conté més de 1350 estrelles i, finalment, eren capaços de predir els eclipsis solars i lunars utilitzant les posicions relatives d'ambdós cossos celestes.



Fragment del mapa de Dunhuang, considerat com un dels primers mapes estel·lars
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dunhuang_star_map.jpg

L'astronomia a l'Amèrica precolombina

Les civilitzacions precolombines tenien uns coneixements astronòmics força notables. Per desgràcia, a causa de les accions dutes a terme pels conqueridors, molts dels vestigis d'aquestes cultures es van perdre. En aquest apartat parlarem dels maies, dels inques i dels asteques. La cultura maia i l'asteca, en pertànyer ambdues a la zona de mesoamèrica mantenen una gran interrelació. Cal destacar a més que, a l'igual que a la gran majoria de les cultures que han estat comentades anteriorment, entre les cultures de Sud-amèrica també existia una estreta relació entre l'astronomia i la religió ja que els coneixements astronòmics només es trobaven a l'abast de la classe sacerdotal

La civilització maia va desenvolupar un sistema numèric en base 20, de vital importància per a la elaboració dels calendaris que regien tant els actes religiosos com els civils. L'astronomia maia es va desenvolupar d'una forma molt polifacètica. Els maies tenien un coneixement molt exacte de la durada de l'any tròpic i del mes sinòdic. A més a més, van realitzar càlculs molt acurats del període sinòdic de Mercuri, Venus, Júpiter i Saturn i dels períodes del Sol i de la Lluna.



El Temple de Kukulcán, un referent de la cultura maia, a la zona arqueològica de Chichén Itzá a Mèxic
(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chichen_Itza_3.jpg)

Però segurament el fet més important sobre l'astronomia maia té relació amb el seu calendari cíclic: les precises observacions realitzades pels sacerdots maies eren anotades i els

esdeveniments astronòmics més importants eren

marcats en aquests calendaris. Això, sumat als seus amplis coneixements, els va permetre poder predir els eclipsis i el curs del planeta Venus. A més d'aquest calendari cíclic, els maies tenien un calendari solar molt més precís que l'utilitzat actualment i totes les seves ciutats es trobaven orientades, tenint en compte la volta celeste.

La civilització asteca va sorgir a voltants del segle X i no només van desenvolupar l'astronomia i el calendari, sinó que van estudiar i desenvolupar la meteorologia mitjançant l'aplicació dels seus coneixements per tal de facilitar les teves tasques en agricultura. Per als asteques, l'astronomia encara tenia un paper més important que en moltes altres cultures ja que per ella mateixa formava part dels seus cultes religiosos. Això els va portar a construir observatoris en els quals van realitzar observacions que els van permetre calcular amb exactitud les revolucions sinòdiques del Sol, de la Lluna i de Venus i Mart.

De les tres civilitzacions que conformen aquest apartat, la dels inques, és segurament la menys estudiada ja que el gran saqueig al qual van ser sotmesos per part dels conqueridors en dificulta molt la tasca. És per aquest motiu, que encara queda molt per arribar a conèixer detingudament la cultura inca.

Els inques utilitzaven dos calendaris diferenciats: un de lunar amb finalitats religioses i un de solar per a l'agricultura, encara que les últimes investigacions apunten a l'existència d'un calendari solar-lunar. Els inques, van portar la relació entre l'astronomia i la religió a un nivell superior al de les altres cultures, ja que adoraven el Sol com una divinitat en si mateix. El Déu Sol Iti era la divinitat principal dels inques i el seu culte era obligatori a tot l'imperi.



També donaven molta importància a les constel·lacions i tenien les seves pròpies. A més, mostraven un gran interès en la mesura del temps amb finalitats agrícoles i van identificar la relació entre l'ortus helíac de Sírius amb l'inici de l'època de pluges.

L'astronomia al món àrab

Una altra de les cultures més rellevants pel que fa a l'astronomia és la cultura àrab, no només per les observacions que van realitzar o pels avenços que van introduir sinó també perquè és gràcies als textos islàmics que es van conservar els escrits grecs i es va poder dur a terme una recuperació dels mateixos en el si de l'astronomia occidental durant l'Edat Mitjana.

L'astronomia àrab es va desenvolupar per tota la zona d'influència islàmica: Orient Mitjà, Àsia central, l'Al-Andalus i el nord d'Àfrica. Influenciada pels grecs i els indis. S'inicia com a ciència al segle VIII després d'un procés d'assimilació de l'astronomia de les cultures hel·lenística i hindú. Els textos d'ambdues cultures, eren traduïts a l'àrab, entre aquests textos, destaquen *Almagest* de Ptolomeu i *Aryabhatiya* d'Aryabhata.

Però no és fins a partir del segle IX quan comença el veritable procés d'investigació i observació astral. Els tractats de Ptolomeu i tot el seu treball van ser acceptats pels astrònoms àrabs i els van millorar afinant les observacions i els càlculs matemàtics. Un dels factors que va influir positivament en aquesta millora de l'astronomia va ser l'interès dels califats i el suport econòmic que van proporcionar per possibilitar aquest desenvolupament.

El primer tractat important d'astronomia va ser escrit l'any 830 i contenia taules del moviment del Sol, de la Lluna i dels cinc planetes coneguts en aquella època. Aquest treball és important ja que va portar un gir important a l'astronomia islàmica al introduir conceptes ptolomeics.



Miniatura otomana amb l'estudi de la Lluna i les estrelles – s XVII

(http://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Astronomes_-_miniature_ottomane_XVIIe.jpg)

És a partir del segle XI quan l'astronomia islàmica ja adoptarà un caràcter diferenciat i començarà a evolucionar. Els astrònoms àrabs van començar a qüestionar les bases del sistema de Ptolomeu i es van escriure un gran nombre de tractats en els quals es posava en dubte el model de Ptolomeu i s'oferien possibles variants. Malgrat això, de forma generalitzada, es va mantenir el sistema geocèntric.

Potser, la més gran evolució duta a terme pels àrabs va ser el fet de començar a aplicar el mètode científic a l'astronomia i l'astrofísica duent a terme el primer intent de combinar l'astronomia matemàtica amb les ciències naturals (aquí, és entès com un precursor de la física) en les seves hipòtesis. Altres avenços importants són la recol·lecció i anotació de dades astronòmiques, que permeten resoldre problemes significatius del model de Ptolomeu, la millora de l'astrolabi, la invenció de nombrosos instruments astronòmics, l'inici de l'estudi de l'astrofísica i de la mecànica celeste, l'elaboració d'experiments relacionats amb els fenòmens celestes i, finalment la introducció de les observacions empíriques i de les tècniques experimentals.

3.2. L'astronomia científica

Tradicionalment els historiadors consideren que l'astronomia pròpiament científica s'inicia amb l'Edat Moderna i el Renaixement. Tot i que aquesta afirmació de forma generalitzada sigui correcta convé tenir present que l'amplitud tant històrica com cultural de l'astronomia, té excepcions ben rellevants.

De fet, a l'hora d'establir aquesta idea, els historiadors es basen en el fet que els astrònoms d'aquests segles, sistematitzen l'estudi dels astres i utilitzen en la majoria dels casos instruments per al seu estudi i es preocupen per la difusió dels avenços científics ja que entenen que, d'aquesta manera, s'avança en el progrés humà. Certament aquesta idea, fortament arrelada durant l'època del Renaixement, és la que ha anat caracteritzant no només l'astronomia sinó l'estudi en totes les ciències des d'aleshores.

Abans de l'astronomia científica: l'Edat Mitjana.

Per tal de seguir un ordre cronològic en la història de l'astronomia, hem cregut adient d'incorporar aquest apartat que es refereix a l'Edat Mitjana a la zona d'Europa.

L'Edat Mitjana a Europa va ser una època durant la qual no es van produir avenços en l'astronomia ja que es va caure en un estancament generalitzat de la producció intel·lectual. Més que desenvolupament, l'Edat Mitjana va consistir



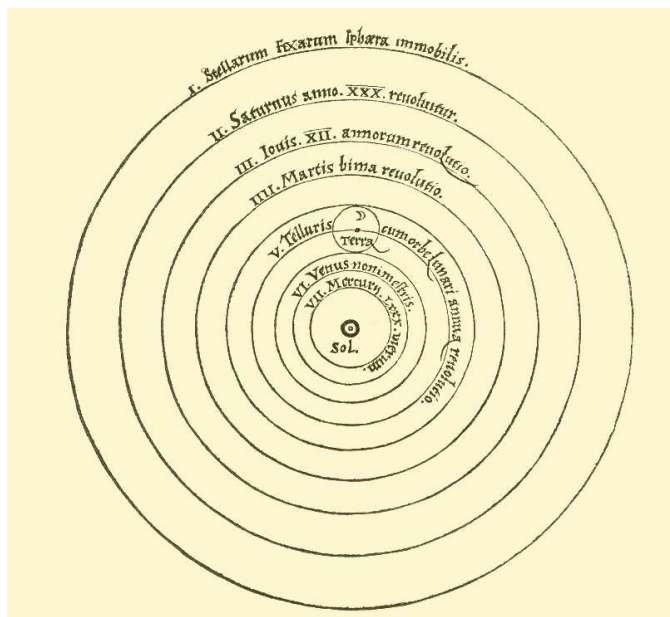
en una lenta recuperació de l'astronomia grega perduda després de la caiguda de l'Imperi Romà.

La majoria de textos d'astronomia avançada eren escrits en grec, però a causa de la pèrdua de coneixement de la llengua grega, els textos que es van conservar van ser els tractats més bàsics traduïts al llatí, majoritàriament són resums simplificats i tractats pràctics. Irònicament, encara que l'interès posat en la investigació dels astres tenia finalitats bàsicament religioses dintre del cristianisme per tal de calcular les hores d'oració o el càlcul de diumenge de Pasqua, va ser gràcies a la traducció al llatí de llibres escrits en àrab a la zona de Sicília i d'Espanya que es va poder iniciar la recuperació de l'astronomia. Al segle XII, coincidint amb la creixent importància de les universitats i juntament amb l'augment en la traducció de textos àrabs, cada vegada més avançats, l'astronomia va tornar a tenir importància a Europa gràcies a la creació de diversos tractats ja escrits per europeus.

L'Astronomia a l'Edat Moderna

El descobriment d'Amèrica, va propiciar un gran canvi en la navegació que va passar a necessitar instrument navals més precisos així com una millora en les tècniques de cartografia terrestre i estel·lar. Aquest fet va comportar un estímul en l'estudi de la geografia, l'astronomia i les matemàtiques. A Europa, coincidint amb el desenvolupament del Renaixement, es va propiciar un canvi en la visió de l'univers: es planteja una nova forma de veure el món i d'entendre l'ésser humà i es comença a valorar el coneixement i l'estudi de la ciència com a manera d'entendre'l.

És en aquest context que el treball de Nicolau Copèrnic (1473 – 1543) suposarà un canvi radical i un nou impuls en el desenvolupament de l'astronomia. El seu llibre *De revolutionibus orbium coelestium*, publicat quan Copèrnic estava ja al seu llit de mort, analitza d'una forma crítica la teoria de Ptolomeu d'un univers geocèntric i aporta arguments matemàtics vàlids a favor d'un univers heliocèntric, a més de demostrar que els moviments planetaris es poden



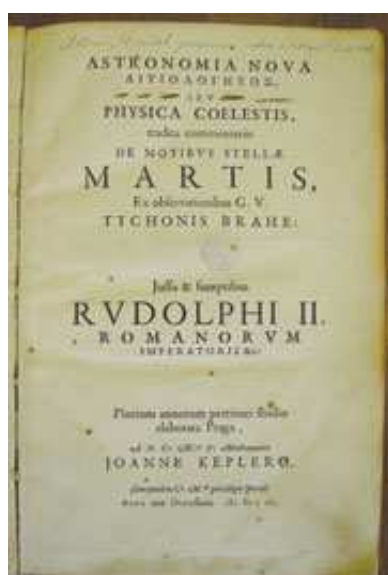
Model heliocèntric de Copèrnic
(<http://desdelamediterrania.cat>)

explicar d'una forma molt més precisa si prenem com a centre del sistema solar el Sol i no la Terra. Tot i això, encara conserva alguns aspectes de l'astronomia de Ptolomeu com el model d'òrbites formades per esferes perfectes.

El treball de Copèrnic, més enllà d'aportar tot un seguit d'idees i arguments a favor del model heliocèntric, va marcar un punt d'inflexió en l'estudi de la ciència ja que va estimular l'estudi i la investigació tant en astronomia com en la resta de ciències i és considerat per molts com el punt d'inici de la revolució científica i, per tant, de la ciència moderna. Per entendre aquest canvi, cal tenir en compte que el treball de Copèrnic suposava una ruptura bàsica amb la ideologia religiosa medieval i una substitució d'un model de cosmos tancat i jerarquitzat amb l'home com a centre per un univers homogeni i infinit amb el Sol com a centre.

Un altre dels astrònoms més rellevants de l'època fou Tycho Brahe (1546 – 1601), qui va ser l'observador més important del segle XVI i va destacar per les seves observacions exhaustives, àmplies i extremadament precises, les quals es deuen en gran mesura a la seva gran habilitat com a observador i a l'ús dels instruments més avançats de la seva època tot i que no va arribar a disposar mai d'un telescopi. Tycho Brahe va realitzar un catàleg estel·lar amb més de 1000 estrelles, la precisió en la posició de les quals, no havia estat mai assolida anteriorment.

A més, va demostrar que els cometes no eren fenòmens astronòmics com postulava Aristòtil sinó objectes que es trobaven més enllà de la Terra. També va estudiar amb gran precisió el moviment dels planetes i va crear un model còsmic geo-heliocèntric que afirmava que els planetes giraven al voltant del Sol però que al mateix temps, aquest i la Lluna orbitaven al voltant de la Terra.



Astronomia Nova, l'obra més significativa de Kepler
(<http://www.nature.com>)

Un altre astrònom destacat fou Johannes Kepler (1571-1629). Kepler va ser l'últim ajudant de Tycho Brahe. A la mort de Brahe, Kepler es va dedicar a analitzar meticulosament les dades sobre el moviment de Mart registrades per Tycho. Gràcies a aquestes dades, va poder concloure que cap dels sistemes del món proposats anteriorment era correcte si només s'utilitzaven òrbites circulars. Partint d'aquesta base, Kepler va buscar durant molts anys un model que expliqués els moviments planetaris mitjançant el sistema heliocèntric de Copèrnic.

Finalment, Kepler va descobrir que si utilitzava el·lipsis, les dades concordaven amb les obtingudes

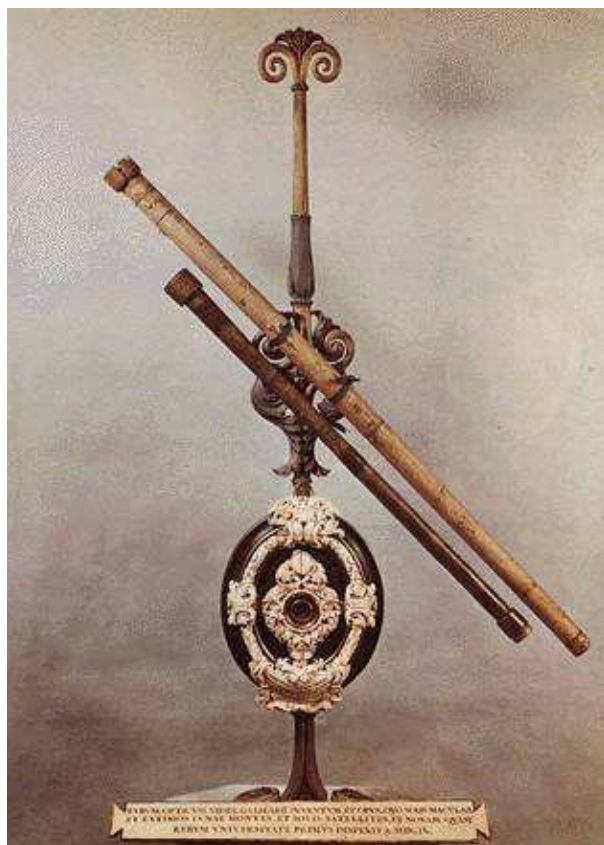


durant les observacions. La solució de Kepler va aparèixer en el llibre *Astronomia Nova*, en el qual, afirmava que els planetes es movien al voltant del Sol seguint òrbites el·líptiques amb el Sol en un dels focus. Va ser així com va aparèixer la primera llei de Kepler. A aquesta, la van seguir dues lleis més. Conformant així, el que ara coneixem com les tres lleis de Kepler, que són les següents:

- 1a Llei: La òrbita de tots els planetes és una el·lipse amb el Sol situat en un dels focus de l'aquesta el·lipse
- 2a Llei: La línia que uneix un planeta amb el Sol, escombra àrees iguals en intervals de temps iguals.
- 3a Llei: El quadrat del període orbital d'un planeta és directament proporcional al cub del semieix major de la seva òrbita.

El darrer astrònom destacat del Renaixement fou sens dubte Galileo Galilei (1564 – 1642). La seva aportació al món de l'astronomia fou clau ja que va ser el primer astrònom en observar el cel de forma sistemàtica mitjançant l'ús d'un telescopi (al qual va aportar diverses millores) i és considerat per molts com el pare de la ciència moderna.

Entre els seus descobriments i observacions, els principals són els següents: Galileu va descobrir que la banda lletosa de la Via Làctia estava formada per milers d'estrelles, va observar les taques solars, va constatar que la superfície de la Lluna no era llisa, va observar els anells de Saturn (encara que no va saber dir què eren) i, finalment, va descobrir els quatre satèl·lits de Júpiter anomenat satèl·lits galileians en el seu honor.



El telescopi dissenyat per Galileu
(<http://norton.com>)

A més a més, Galileu també va detectar que el planeta Venus tenia fases igual que la Lluna. Aquest fenomen, no podia ser explicat a partir de la geometria del sistema ptolomeic, cosa que el va portar a examinar el model aristotèlic i a escriure el llibre *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. En aquest llibre, Galileu posava de manifest els avantatges del sistema copernicà mitjançant l'ús de les seves informacions i realitzant una aportació teòrica molt

singular. Aquesta defensa del model heliocèntric de Copèrnic, li va comportar problemes amb l'església catòlica ja que entrava en conflicte amb el que promulgaven les Sagrades Escriptures.



Galileo Galilei, presenta el telescopi al senat venecià (<http://universe-review.ca>)

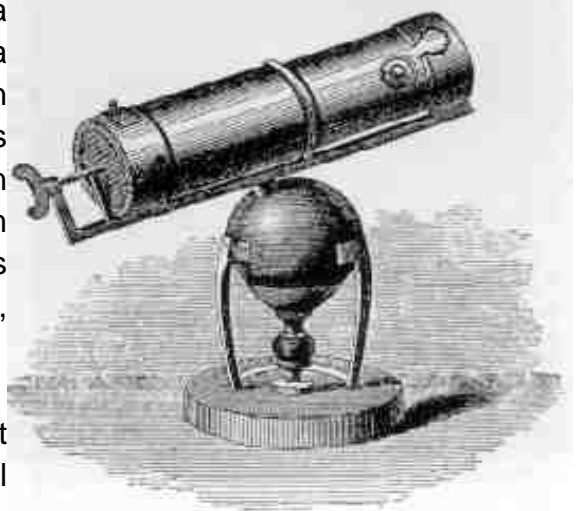
Però més enllà de les seves observacions, Galileu va ser important perquè va ser el primer en utilitzar les bases que regeixen la ciència moderna gràcies als seus mètodes experimentals on la inducció se situa per damunt de la deducció i que conformen les bases del mètode científic.

L'astronomia moderna s'inicia amb el llibre d'Isaac Newton (1643-1727) *Philosophiae naturalis principia mathematica* publicat l'any 1687 en el qual es posen les bases de la mecànica clàssica. Newton fonamenta la mecànica en tres principis bàsics, els quals descriuen les relacions entre les forces que actuen sobre un cos i el moviment que provoquen les mateixes. A més, consuma la síntesi dels treballs de Galileu, Tycho Brahe i Kepler en establir la llei de la gravetat universal que regeix tant la caiguda dels cossos en la Terra com el moviment dels astres al cel.

La llei de la gravitació universal estableix l'afirmació següent:

“La força amb la qual s'atrauen dos cossos, és directament proporcional al producte de les dues masses i inversament proporcional al quadrat de la distància que les separa.”

Newton també estudià la llum contribuint així de forma cabdal al desenvolupament de l'astronomia observacional ja que descobrí la descomposició de la llum blanca en colors. Cadascun d'aquests colors es desvia sistemàticament al travessar un tros de vidre i provoca el que coneixem com a dispersió de la llum i que es manifesta en els instruments òptics, produint efectes indesitjats i molestos.



Newton desenvolupà un telescopi basat en miralls i no en lents, es tracta del

conegut com a telescopi reflector, ja que evitava aquest fenomen. El seu disseny, fou utilitzat durant els segles posteriors per tal de construir grans telescopis.

Telescopi reflector, dissenyat per Newton
(<http://sociadadytecnologia20112g3.files.wordpress.com/2011/08/telescopio-reflector.png>)

Durant els segle XVIII es va produir un gran desenvolupament en l'astronomia observacional amb un gran nombre d'astrònoms treballant en determinar de forma precisa les posicions de les estrelles i d'altres cossos celestes.

Són molts els astrònoms que contribuïren al desenvolupament de l'astronomia amb les seves observacions, però en aquest apartat ens centrarem en els principals: Edmond Halley (1656 – 1742) qui va predir que un cometa observat l'any 1682 tornaria a aparèixer 76 anys després mitjançant les lleis de Newton. La predicció es confirmà quan el cometa aparegué l'any 1759. Halley també fou astrònom reial a l'Observatori Reial de Greenwich i publicà un catàleg iniciat per l'astrònom John Flamsteed amb la posició de més de 3000 estrelles.

El seu successor, James Brandley (1693 – 1762) descobrí el fenomen de l'aberració de la llum segons el qual l'acceleració de la Terra produïa una variació en la posició aparent de les estrelles. Això li va permetre mesurar la velocitat de la llum i calcular el temps mitjà que tardava a anar del Sol a la Terra. Aquest descobriment, juntament amb l'ús d'instruments cada cop més precisos va permetre incrementar l'exactitud en el càlcul de la posició de les estrelles.

L'any 1781, l'astrònom aficionat Wilhelm Herschel (1738 – 1822) descobrí el planeta Urà. Més endavant, també descobrí dos satèl·lits d'Urà i sis de Neptú. Finalment, cal destacar que també fou el primer astrònom en aplicar l'estadística a l'astronomia i intentà calcular la grandària de la galàxia a la qual atribuï un total de 100 milions d'estrelles, un diàmetre equivalent a unes 850 vegades la distància a l'estrella Sírius i un gruix corresponent a unes 155 vegades aquesta distància.

Al llarg del segle XVII la mecànica celeste fou estudiada àmpliament i es desenvolupà partint dels treballs de Newton. Això facilità la interpretació teòrica de moltes de les observacions realitzades i va permetre calcular de forma precisa la posició dels planetes al llarg del temps.

Durant el segle XIX, es descobriren un gran nombre de planetes (asteroides i planetoides) i es realitzaren els paral·laxis (efecte del canvi de posició d'un observador respecte de l'objecte observat) dels planetes interiors i exteriors i de les primeres estrelles. També s'amplià la comprensió del nostre sistema solar i de les estrelles fixes.

És d'una gran importància en aquesta època, el descobriment que realitzà el constructor d'instruments òptics i d'observació Joseph Fraunhofer (1787 – 1826), en observar que, en realitat, l'espectre de colors contenia centenars de línies fosques. Gustav Kirchhoff (1824 – 1887) i Robert Bunsen (1811 – 1899) establiren la relació entre aquestes línies i la composició química dels objectes radiants creant així l'espectroscòpia, tècnica clau per al desenvolupament de l'astrofísica ja que va permetre descobrir els elements químics que formaven les estrelles.

Angelo Secchi (1818 – 1878) analitzà amb detall l'espectre de 4000 estrelles i elaborà la primera classificació dels astres segons el seu tipus espectral.

3.3. L'astronomia en els nostres dies.

L'astronomia a l'època contemporània.

A principis del segle XX, algunes de les creences precopernicanes reapareixeren i es passà a situar el Sol al centre de la Via Làctia; la qual, constituïa tot l'univers i al final de la qual, només existia un buit infinit.

L'estudi mitjançant l'espectroscòpia de les nebuloses el·líptiques va permetre demostrar que no tenien les característiques d'un núvol de gas sinó d'estrelles, el que confirmà que, com a mínim, algunes de les nebuloses estaven constituïdes per estrelles.



Henrietta Leavitt (1868 – 1921) contribuï d'una forma molt important a l'astrofísica al mostrar la relació entre el període de variabilitat en la lluminositat de les cefeïdes (un tipus d'estrelles), i la seva brillantor intrínseca, cosa que va permetre estimar la distància a una estrella situada fins i tot en una altra galàxia. Fou Harlow Shapley (1885 – 1972) qui, gràcies a aquesta relació, pogué demostrar que el Sol no es trobava al centre de la Via Làctia sinó a la seva perifèria.

És en aquest context, on el treball del cosmòleg Edwin Hubble (1889 – 1953), proporcionarà l'any 1924 una prova que canviarà la comprensió del nostre univers en demostrar que la nebulosa Andròmeda, és una galàxia situada molt més enllà dels límits de la nostra. D'aquesta manera, es revelà la presència d'altres galàxies a l'espai.

L'any 1929, després de mesurar la distància de 25 galàxies, Hubble enunciarà la seva famosa llei que afirma que les galàxies s'allunyen a una velocitat proporcional a la distància que les separa. Aquest fet observacional, s'interpretarà més endavant com l'expansió de l'univers i suposarà un dels pilars principals de la teoria del Big Bang.

La Teoria de la Relativitat d'Albert Einstein (1879 – 1955), resultarà decisiva per al desenvolupament de la cosmologia i de l'astrofísica ja que es convertirà en la base de les teories que descriuen la forma i l'evolució de les estrelles i de tot l'univers.

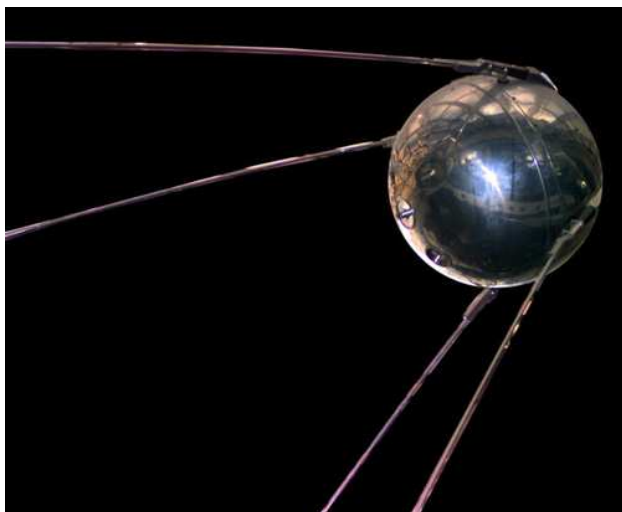
Vesto Slipher (1875 – 1969), observà un desplaçament cap al roig dels espectres de diverses nebuloses. Aquest desplaçament, s'explica mitjançant l'efecte Doppler que indica que aquestes ones, s'allunyen de l'observador. No obstant, Slipher no va saber explicar aquest fenomen.

Fou l'astrònom i matemàtic belga Georges Lemaitre (1894 – 1966) qui, el 1927, fusionant els descobriments de Hubble, Einstein i Slipher, publicà un article en el que relacionava aquest desplaçament cap al roig, amb un univers en expansió. El seu article, creà un gran debat i es començà a desenvolupar la teoria del Big Bang en la que, originalment, tot l'univers es trobava concentrat en un sol punt, anomenat pel mateix Lemaitre com a "Àtom primordial".

Durant el segle XX, els avenços en astronomia foren amplíssims i superaren els realitzats en tots els segles anteriors. Es construïren telescopis reflectors cada vegada més grans que permeteren realitzar estudis més amplis i precisos de cossos cada vegada més llunyans. A més s'equiparen amb tot tipus d'instruments per a l'anàlisi de la radiació rebuda. Tot això, juntament amb l'ús



de la fotografia, la fotometria, l'espectroscòpia i de tècniques de detecció electrònica, han contribuït de forma decisiva a la coneixença del nostre univers.



L'Sputnik 1, el primer satèl·lit artificial

A més, l'ús cada vegada més ampli de satèl·lits artificials i de sondes espacials, ha portat a estudiar regions de l'espectre electromagnètic que no són visibles des de la superfície terrestre: els infrarojos, els raigs X i els raigs gamma.

Tot i que no és astronomia en si mateixa, cal destacar les aportacions realitzades per l'aeronàutica en la investigació astronòmica tant en el camp de l'observació astronòmica i de

l'astrofotografia com és el cas del telescopi espacial Hubble com en la investigació que es duu a terme en els diversos programes de l'Estació Espacial Internacional, de l'èxit dels quals (i de l'Estació en si mateixa) depenen la gran majoria dels futurs programes tripulats

Perspectives de futur

L'astronomia continua essent una ciència amb grans perspectives de futur. El programa ASTRONET, desenvolupat per una agrupació dels principals organismes astronòmics europeus amb l'objectiu de definir el programa a seguir en l'astronomia europea, ens serveix per veure els principals reptes i objectius de l'astronomia en els propers vint-i-cinc anys. Aquest programa, presentà l'any 2008 un full de ruta a seguir del qual s'extreuen les quatre preguntes fonamentals que defineixen els reptes futurs de l'astronomia:

- Es coneixen els extrems de l'univers?
- Com es formen i desenvolupen les galàxies?
- Quin és l'origen i evolució d'estrelles i planetes?
- Quin lloc ocupa l'ésser humà?

De fet, si llegim aquestes preguntes, podem entendre que l'astronomia no ha abandonat la seva idea fonamental, ja que continua tenint el mateix rol d'ara fa més de 3000 anys: intentar respondre les preguntes fonamentals que intriguen a la humanitat, d'aquí que afirmen que l'astronomia és una ciència clau per al coneixement humà.



4. INTRODUCCIÓ A LA MECÀNICA CELESTE

La mecànica celeste és la branca de l'astronomia que estudia el moviment dels objectes celestes. La mecànica celeste utilitza els principis físics coneguts com a mecànica clàssica, els quals es refereixen a un conjunt de lleis físiques que descriuen el comportament dels cossos sotmesos a l'acció d'un sistema de forces. Aquests principis són utilitzats per realitzar el càlcul d'efemèrides de cossos celestes com estrelles, satèl·lits o planetes. És a dir, la mecànica celeste ens permet calcular la posició de qualsevol objecte estel·lar al llarg del temps a partir del moviment de la seva òrbita.

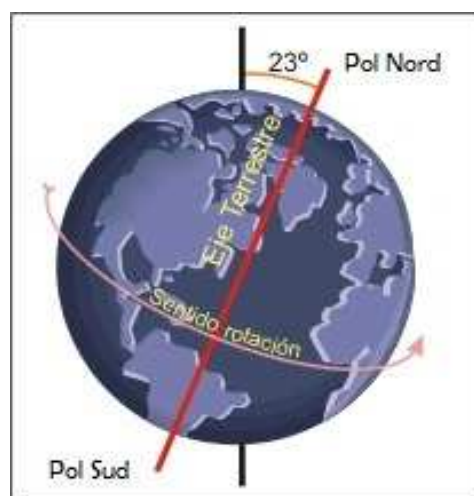
En aquesta introducció a la mecànica celeste, ens centrarem en l'astronomia de posició mitjançant l'estudi del moviment de l'esfera terrestre i del moviment diürn de l'esfera celeste i explicarem els conceptes bàsics sobre la mateixa. Després, continuarem amb un breu estudi dels moviments aparents dels cossos celestes i del Sol i per acabar analitzarem els diferents mètodes de coordenades astronòmiques utilitzats: les horitzontals, les horàries, les equatorials absolutes i les eclíptiques.

4.1. Els moviments de la terra

En la Terra, podem diferenciar més de deu moviments, tot i que ens centrarem en els quatre principals: el de rotació, el de translació, el de precessió i el de nutació.

Moviment de rotació

La Terra realitza una volta completa sobre un eix ideal que passa pels seus pols cada 23 hores i 56 minuts. Aquesta rotació, és en direcció Oest-Est seguint un sentit contrari al de les agulles del rellotge. És aquest moviment el que provoca la successió del dia i de la nit



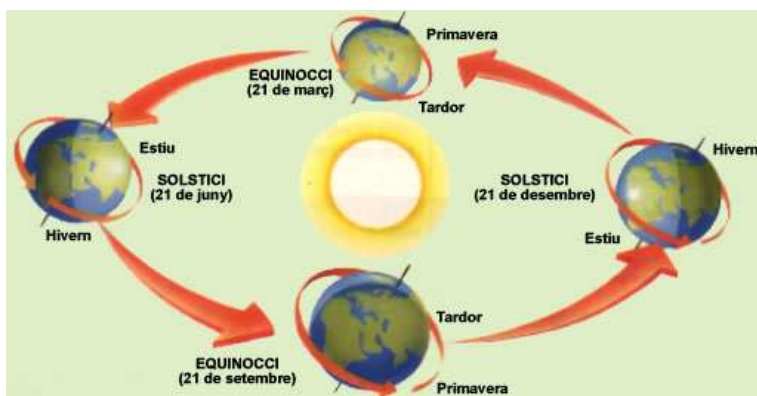
Imatge representativa del moviment de rotació

(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/RotacionTerrestre.png>)

Moviment de translació

El moviment de translació és el moviment pel qual el nostre planeta es mou al voltant del Sol impulsat per la gravetat del mateix seguint una trajectòria el·líptica de 930 milions de quilòmetres i a una distància mitjana del Sol de 150 milions de quilòmetres.

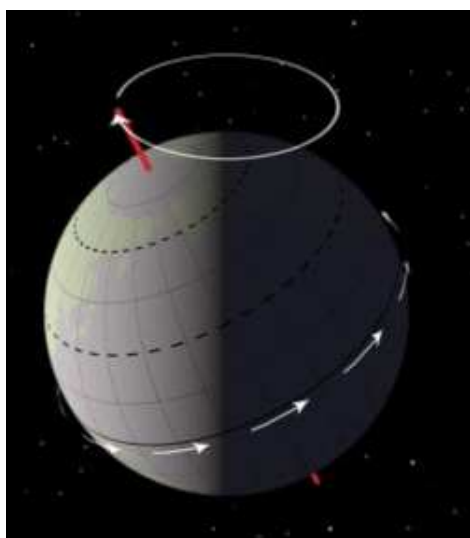
Aquest moviment té una durada de 365 dies, 5 hores i 57 minuts i és realitzat a una velocitat de 29'5 quilòmetres per segon (uns 106.000 quilòmetres per hora). L'excentricitat de l'òrbita terrestre fa que la distància Terra-Sol variï durant l'any. Aquesta variació oscil·la entre un mínim de 142.700.000 i un màxim de 151.800.000 quilòmetres.



Imatge representativa del moviment de translació

(<http://www.xtec.cat/monografics/socials/taller/unitat1/imatges/translacio.jpg>)

Moviment de precessió



Si la Terra fos completament esfèrica, només tindria els moviments de rotació i translació, però en tractar-se d'un el·lipsoide irregular aixafat en els pols i afectat per l'atracció gravitacional del Sol, la Lluna i en menor mesura pels altres planetes, es produeix un moviment de lentíssim balanceig durant el moviment de translació en sentit contrari al de rotació. Sota la influència d'aquesta atracció, l'eix dels pols descriu un con amb una obertura de 47 graus amb el vèrtex situat en el centre de la Terra.

Imatge representativa del moviment de precessió

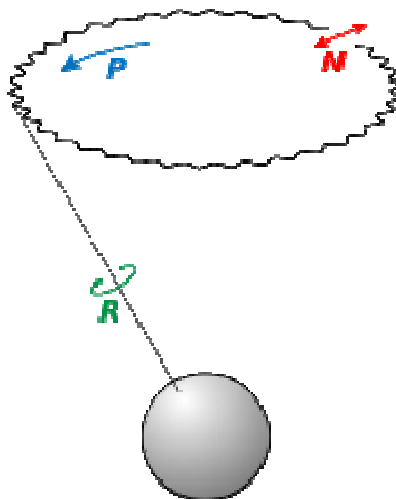
(http://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Earth_precession.jpg)

El moviment de precessió provoca les conseqüències següents:

- ✓ La posició del pol celestes canvia al llarg dels segles, el que provoca que l'estrella polar vagi variant i que pugui no arribar a coincidir del tot amb el pol nord celeste, amb una distància que pot arribar variar entre 0'3 i 1 graus.
- ✓ El punt Àries i les coordenades de les estrelles varien contínuament: encara que sigui de forma quasi be imperceptible. Aquests desplaçaments es tornen significatius en llargs períodes de temps el que fa que les seves posicions hagin de ser corregides cada cert temps.
- ✓ El lent desplaçament entre les constel·lacions i els signes del zodíac que, vinculats a les estacions segueixen el moviment de la Terra, fa que algunes constel·lacions que ara són visibles durant les nits d'hivern, deixin d'estar-ho d'aquí un llarg període de temps i passin a ser visibles durant les nits d'estiu.

Moviment de nutació

El fenomen de la nutació es superposa al de precessió i es pot definir com un petit vaivé de l'eix de la Terra. Aquest vaivé es mostra en forma d'un moviment d'ondulació que es produeix mentre l'eix de rotació gira formant un con. El moviment de nutació de la Terra és el que produeix el canvi d'estacions al fer variar l'angle d'incidència dels rajos del Sol contràriament a la creença generalitzada que afirma que és la forma el·líptica de l'òrbita terrestre el que el produeix.



Imatge representativa dels moviments de precessió (en blau) i de nutació (en roig)
(<http://ca.wikipedia.org>)

4.2. L'esfera terrestre

Les coordenades geogràfiques

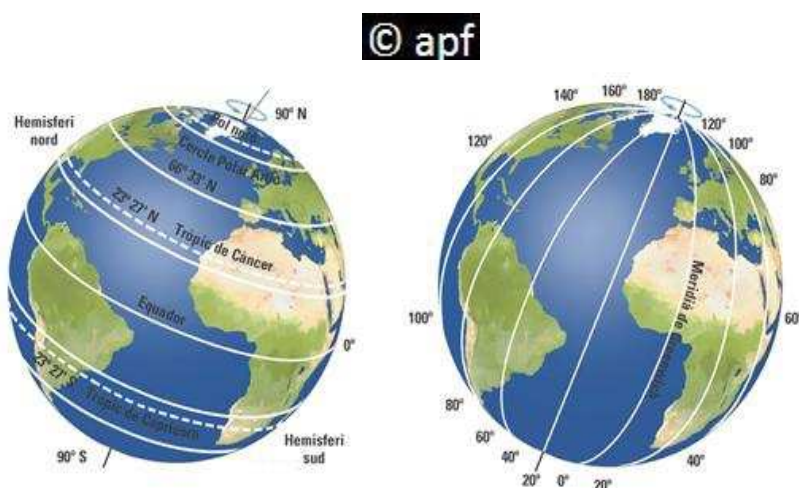
Com que la gran majoria de les observacions es fan des de la Terra i depenen de la posició de l'observador sobre la superfície de la mateixa, és necessari conèixer les coordenades geogràfiques terrestres.

Els cercles que són la intersecció d'una esfera amb un pla que passa pel seu centre s'anomenen cercles màxims ja que el seu radi coincideix amb el de l'esfera.

L'equador geogràfic és el cercle màxim definit pel pla perpendicular a l'eix de rotació de la Terra. Els cercles d'intersecció de la superfície terrestre amb plans paral·lels al de l'equador s'anomenen paral·lels geogràfics. L'equador divideix l'esfera terrestre en dos hemisferis (el nord i el sud)

Per una altra banda, els cercles màxims que passen pels pols geogràfics s'anomenen meridians geogràfics. Els dos pols divideixen cada meridià en dos semi-meridians. El meridià que passa per l'observatori de Greenwich a Anglaterra es pren com a primer meridià.

Si ens movem sobre l'equador o un paral·lel geogràfic en el sentit de rotació de la Terra, direm que anem en la direcció est, llevant o orient i si ens movem en sentit contrari direm que anem cap a l'oest, ponent o occident.



Imatge representativa dels paral·lels i meridians terrestres (
http://3.bp.blogspot.com/-DqHuf07fL_Q/To3iYYOfwcl/AAAAAAAAANt8/ucUL3nLwg00/s1600/paral%25C2%25B7lels-meridians.JPG)

A partir d'aquestes referències definirem els conceptes de latitud i de longitud:

1. **Latitud:** la latitud ve definida per l'angle que forma la vertical d'un punt amb l'equador. La latitud és igual a 0 graus per a l'equador, positiva a l'hemisferi nord i negativa a l'hemisferi sud formant per tant un angle que pot variar des de -90 graus (pol sud) fins a 90 graus (pol nord).
2. **Longitud:** la longitud serveix per expressar la distància angular entre un punt de la superfície terrestre i el primer meridià. Aquesta distància varia entre 0 i 180 graus cap a l'oest i entre 0 i -180 graus en direcció est. Cal tenir present que els punts del semimeridià oposats al primer semimeridià tenen al mateix temps 180 i -180 graus.

4.3. L'esfera celeste

Des de la Terra observem els cossos celestes com si estiguessin sobre la superfície d'una esfera de radi molt gran que envolta la Terra i que anomenem habitualment firmament o cel. En les cosmologies antigues, es creia que el cel era una immensa esfera de cristall sobre la qual estaven enganxats els astres, als quals anomenaven *fixes* ja que semblaven mantenir les seves posicions aparents.

Evidentment, ja fa molt que vam abandonar aquesta concepció de la realitat, però en astronomia s'ha mantingut l'essencial d'aquest concepte en continuar anomenant a aquesta esfera imaginària de radi arbitràriament gran amb el nom d'esfera celeste i en la qual situem l'observador en el seu centre.

Per tant, a més de les coordenades terrestres, tenim necessitat d'unes coordenades que ens permetin mesurar la posició dels astres sobre aquesta esfera celeste. Aquestes coordenades estan lligades al seu moviment diürn i al moviment anual del Sol sobre la mateixa.

De la mateixa forma que amb l'esfera terrestre, cal definir alguns conceptes abans de passar a parlar dels tipus de coordenades:

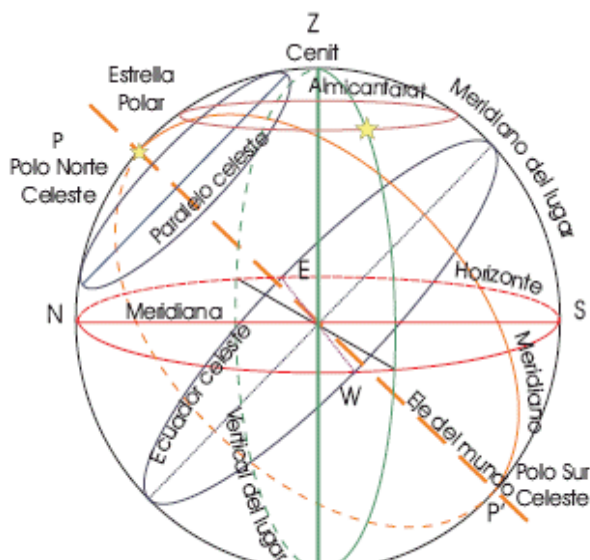
El primer concepte que hem de definir és l'eix del món: quan observem el cel nocturn durant unes hores, veiem que tots els astres giren al voltant d'un eix imaginari que passa pel punt d'observació. Aquest és l'eix del món. Durant aquest moviment, els astres giren d'est a oest i donen una volta cada dia. Això es deu al fet que la Terra gira en sentit contrari al voltant del seu eix de rotació. Aquest moviment es denomina **moviment diürn**.

Com hem dit, l'eix del món ve definit per la posició de l'observador i per tant la seva inclinació hauria de variar depenent de la latitud en la qual es trobi l'observador. Aquesta variació angular ve determinada de dividir la distància de l'observador al centre de la Terra (r) entre el radi de l'eix del món (R). Com que R és arbitràriament gran, l'angle resultant tendirà a zero. Això vol dir que per l'observació d'objectes a una distància moltes magnitud superior al radi terrestre, els efectes deguts a la posició de l'observador són inapreciables i per tant, podem considerar l'eix del món paral·lel a l'eix de rotació de la Terra



Si prolonguem l'eix del món fins que interseccioni amb l'esfera celeste, trobarem els punts corresponents als pols celestes. El pol que es troba per sobre de l'horitzó de l'Hemisferi Nord és el pol boreal, àrtic o nord ja que coincideix amb l'estrella Boreal. L'altre pol, s'anomena austral, antàrtic o sud.

El pla perpendicular a l'eix del món i que intersecciona amb l'esfera celeste,



Imatge representativa de l'esfera celeste amb les seves línies

(<http://ca.wikipedia.org/w/index.php?title=Fitxer:Celestial-sphere-ES.svg&page=1>)

forma l'equador celeste i la divideix en hemisferi nord o boreal i hemisferi sud o austral. De la mateixa forma que en la terra, els cercles menors paral·lels a l'equador celeste formen els paral·lels celestes.

La vertical del lloc, la qual va en la mateixa direcció de la gravetat, talla l'esfera celeste en dos punts: el situat per damunt de l'observador i que s'anomena zenit i el situat per sota de l'observador que s'anomena nadir

L'horitzó d'un lloc és el cercle màxim de l'esfera celeste perpendicular a la vertical del lloc que passa pels punts nord,

sud i pel zenit o el nadir. L'horitzó, a la seva vegada, divideix l'esfera celeste en hemisferi superior o visible (en el que es troba l'observador) i hemisferi inferior o invisible.

Així mateix, a tot punt li correspondrà un meridià format per l'eix del món i la línia ZN (Zenit-Nadir). Tot pla que passa per l'eix del món forma sobre l'esfera celeste uns cercles màxims anomenats meridians celestes. I quan aquests passen pel zenit i els pols, formen l'anomenat meridià del lloc.

La meridiana és la recta que intersecciona el pla de l'horitzó i el meridià del lloc i talla l'esfera celeste en dos punts: el més proper al pol boreal s'anomena nord (N) i el més proper al pol austral s'anomena sud (S). La recta perpendicular a la meridiana forma els punts est (E) i oest (W)

Finalment, cada un dels cercles menors paral·lels a l'horitzó astronòmic rep el nom d'almicantarats i els cercles màxims que passen pel zenit i el nadir s'anomenen cercles verticals.

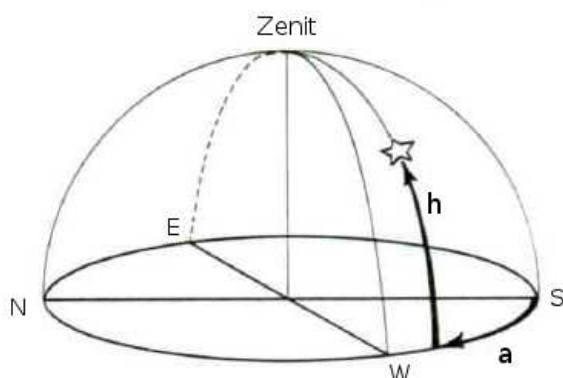
4.4. Els sistemes de coordenades

Un cop marcats els conceptes que defineixen l'esfera celeste, passarem a analitzar diferents sistemes de coordenades per situar un astre en l'esfera celeste.



Les coordenades horitzontals

En aquest sistema de coordenades, la posició d'un astre ve determinada per les dues coordenades següents:



Imatge representativa del mètode de les coordenades horitzontals

- Altitud h : angle entre l'horitzó i la posició de l'astre mesurats sobre el cercle vertical que passa per l'astre. Aquesta altura pot variar entre 90 i -90 graus depenent de si l'astre es troba per damunt o per sota de l'horitzó.
- Azimut a : el cercle vertical que passa per l'astre talla l'horitzó en dos punts. L'azimut correspon a l'angle mesurat sobre l'horitzó des del sud i en direcció oest fins arribar

al punt més proper a l'astre. Per tant pot variar entre 0 i 360 graus.

En aquest sistema, la posició d'un astre varia al llarg del temps i depèn de la posició sobre la superfície terrestre, la qual cosa suposa que en el mateix instant, aquestes coordenades siguin diferents per a dos punts, en conseqüència és necessari buscar altres sistemes de coordenades que siguin més genèrics.

Les Coordenades equatorials

A causa del moviment diürn de l'esfera celeste, els astres descriuen trajectòries que coincideixen amb els paral·lels celestes. En general, surten per l'horitzó de l'est, arriben al seu punt més alt (culminen) al seu pas pel meridià del lloc i es ponen per l'horitzó oest. Tot i això, hi ha estrelles que es mantenen sempre visibles des d'un punt d'observació ja que es troben a una distància angular del pol nord menor que la latitud del lloc. Per això les anomenem estrelles circumpolars.

La distància angular que separa un astre de l'equador celeste és sempre constant i no es veu afectada pel moviment de la Terra. Per tant, la podem utilitzar per tal de trobar la posició d'un astre sobre el cel. L'angle es defineix com:

1. Declinació δ : angle entre l'equador i la posició d'un astre mesurat al llarg del meridià celeste que passa per l'astre. Aquest angle varia entre 0 i 90 graus a l'hemisferi boreal i entre 0 i -90 graus a l'hemisferi austral.

La segona coordenada es defineix a partir d'un meridià particular. Aquest meridià, és el que passa pel punt Àries o vernal; el qual, ve definit pel punt on l'equador celeste talla l'eclíptica i és pot identificar gràcies a que és el punt pel qual el Sol passa de l'hemisferi nord al sud durant el solstici de primavera. Aquesta segona coordenada ve determinada per la mesura següent:



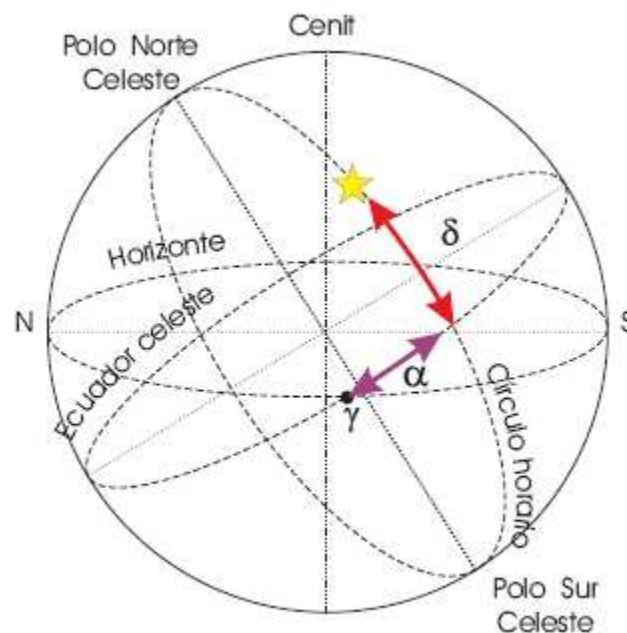
- Ascensió recta α : és l'angle mitjà cap a l'est al llarg de l'equador celeste des del punt vernal cap al meridià celeste que passa per l'astre. L'ascensió recta es mesura de 0 a 24 hores.

Tot i això, no resulta senzill identificar δ i no es pot conèixer α sense conèixer la declinació ja que constitueix el punt d'origen per la seva mesura. Per aquest motiu, buscarem una altra coordenada que ens faciliti mesurar l'ascensió. Ja que el meridià d'un lloc queda ben definit per la vertical i la direcció nord-sud, l'utilitzarem per definir aquesta coordenada local auxiliar.

- ▲ Angle horari H : es defineix com l'angle mesurat sobre l'equador en direcció oest a partir del meridià del lloc fins el meridià pel qual passa l'astre. Aquest angle varia amb el moviment diürn.

L'angle horari del punt vernal rep el nom de **temps sideri** o hora sidèria i és designat per la lletra θ . A partir de les definicions dels diferents angles i de la figura següent podem obtenir l'expressió $\theta = H + \alpha$.

Així doncs, donat que l'ascensió recta d'un astre que es troba en el punt de culminació superior és igual al temps sideri i com que l'angle horari (H) d'un astre en el meridià del lloc és igual a 0, si volem determinar l'angle horari d'un astre d'ascensió recta coneguda en un instant donat, només necessitarem conèixer θ .



Imatge representativa del mètode de coordenades equatorials
<http://www.elcielodelmes.com/>

5. L'OBSERVACIÓ ASTRONÒMICA

L'observació d'objectes en el cel és un dels punts més importants i interessants de tot el que envolta el món de l'astronomia. Però quines característiques són necessàries per tal de poder realitzar una bona observació astronòmica?

En un principi es pot realitzar una observació astronòmica a simple ull nu, i no es pot menysprear el que es pot arribar a observar a simple vista pensem que els primers telescopis no es van crear fins a principis del s. XVII, el que ens deixa amb més de 3 mil·lennis d'observacions continuades i precises del cel nocturn a simple ull nu.

Abans d'arribar als telescopis, cal passar per uns bons binocles. De fet, pràcticament totes les agrupacions astronòmiques coincideixen en proposar a tot aquell que es vulgui iniciar en el món de l'astronomia, la compra d'uns binocles. El motiu principal es troba en el fet que els telescopis de baixa gamma que es poden trobar en les grans superfícies comercials o en petits comerços de proximitat acostumen a ser de mala qualitat i pel preu que acostumen a tenir, resulta molt més útil i donarà molts més bons resultats la compra d'uns binocles bons que sortiran a un preu similar o fins i tot inferior.

A més a més, per tal d'iniciar-se en el món de l'astronomia, uns binocles resulten molt més pràctics a l'hora de familiaritzar-se amb el gran nombre de qüestions que envolten el món de l'astronomia i resulten més útils per tal de realitzar observacions ràpides que no requereixin una gran preparació. Finalment, cal afegir que la despesa econòmica sempre serà inferior si descobrim que l'astronomia no és la nostra afició abans de comprar un telescopi.

Un cop ens hem familiaritzat amb els conceptes principals de l'astronomia i ens sabem moure a través del cel, ha arribat el moment de comprar un telescopi. Aquesta decisió requereix una gran reflexió ja que depenent de les necessitats que tinguem, de com i on realitzarem les observacions o de quin aspecte de l'astronomia ens interessa més, la nostra elecció variarà enormement. Hi ha un gran nombre de guies sobre quin telescopi escollir que podem trobar on-line en webs o blocs d'aficionats. Un cop tenim un telescopi, podem començar les observacions.

Bàsicament, hi ha dos factors que influeixen en la qualitat d'una observació: el primer és l'atmosfera en si mateixa ja que la possibilitat d'obtenir imatges clares i nítides ve molt limitada per les condicions en què es trobi l'atmosfera. Per norma general, les millors observacions s'obtenen en moments d'anticicló ja que es quan l'atmosfera es troba més "calmada".

L'altre gran factor que influeix en la visibilitat que permet una observació astronòmica és la lluminositat del cel. De fet, la contaminació lumínica s'ha convertit en un dels principals motius de queixa dels astrònoms i ha portat a la creació d'un gran nombre d'iniciatives i associacions en defensa del dret d'observar el cel i en contra d'una excessiva contaminació lumínica. En la taula següent, es pot apreciar la magnitud visual d'una zona determinada, en els



quals, la quantitat de llum mitjana és major com menor sigui el valor de la magnitud visual.

Es calcula, que des d'una zona urbana de magnitud visual 4, el total d'estrelles visibles, no supera les 150. En una zona rural propera a una zona urbana amb elevada contaminació lumínica i de magnitud visual 5, es poden veure unes 900 estrelles. Aquest nombre d'estrelles pot semblar elevat, però si el comparem a les prop de 2500 estrelles que podem observar en una zona rural sense contaminació lumínica, ens adonem de l'espectacle tan impressionant que ens estem perdent. La graella següent il·lustra aquest fet:

Cos celeste	MAGNITUD VISUAL
Sol	-27
Lluna plena	-12
Venus en oposició	-4.2
Júpiter	-2.5
Sírius	-1.7
Estrella visible des d'una ciutat amb moderada contaminació lumínica	+3
Estrella visibles des d'una zona urbana amb contaminació lumínica	+4.5
Estrella visibles des d'un camp obert proper a pobles o ciutats	+5
Galàxia d'Andròmeda	+5
Estrella visibles des d'un camp obert sense contaminació lumínica	+6
Estrella visibles des de dalt d'una muntanya, límit de l'ull humà	+7

Hi ha un tercer factor a tenir en compte a l'hora de realitzar observacions astronòmiques i és la proximitat d'objectes que puguin dificultar la visió, com pot ser el cas d'arbres, edificis, etc.



Contaminació lumínica a la ciutat de Barcelona

(<http://ferran94mln.wordpress.com/2009/03/17/contaminacio-luminica/>)



Un observatori astronòmic. Característiques

Un observatori astronòmic és un lloc dedicat a l'observació del firmament, per tant, es podria considerar que una terrassa des de la qual algú mira el cel amb el seu telescopi és un observatori astronòmic. No obstant, en aquest apartat ens referirem als observatoris astronòmics com aquells espais dedicats únicament i exclusivament a aquest afer.

La **part principal** d'un observatori astronòmic, com és lògic, és un **telescopi** normalment de potència elevada situat de forma permanent damunt d'una muntura fixa. Per tal de poder observar el firmament de forma còmoda i per protegir els delicats telescopis dels elements, s'acostumen a construir **cúpules** parcialment retràctils a través de les quals es pot observar el cel. Aquestes cúpules, solen ser rotatòries per tal de poder observar tot el firmament i no delimitar les observacions a una zona concreta.

Actualment, els observatoris també compten amb un gran nombre **d'ordinadors i programes** que permeten facilitar, monitoritzar i augmentar la precisió de les observacions.

La **ubicació** ideal d'un observatori astronòmic és en un lloc allunyat de centres urbans, per tal d'evitar al màxim la contaminació lumínica i, si es possible, eliminar-la. A més, ha de ser un lloc amb un percentatge elevat de nits clares (és a dir, sense núvols o fenòmens que dificultin l'observació), d'aire sec i situat en un lloc elevat ja que en les posicions de major altura, l'atmosfera terrestre és més prima i permet minimitzar així els efectes de les turbulències atmosfèriques millorant així la qualitat de les observacions.

Malauradament, aquestes condicions no coincideixen en gaires llocs, cosa que delimita molt les possibles localitzacions d'observatoris moderns. Algunes de les zones que compleixen les condicions anteriors són la zona sud-oest dels Estats Units, Hawaii, les Illes Canàries, els Andes i algunes muntanyes de la zona de Mèxic.

Tot i això, existeixen un gran nombre d'observatoris importants per tot el món. A Catalunya, per exemple, destaca el Parc Astronòmic del Montsec (PAM). En el nostre cas, hem visitat un observatori astronòmic més proper, situat a l'Institut Maria Rúbies.

A partir de la descripció del mateix entendrem quines són les prestacions que ha de tenir un bon observatori.

L'observatori de l'INS Maria Rúbies

Es troba ubicat al 2n pis del centre, a l'aula d'astronomia. És utilitzat com a eina pedagògica i s'hi realitzen activitats amb alumnat de diversos nivells.

L'observatori consta de dues parts físiques ben diferenciades: l'aula i la cúpula. L'aula té una forma rectangular i s'hi ha delimitat diferents ambient, hi ha l'espai



de treball, on hi ha les taules i els ordinadors, i l'espai de recerca on trobem diferents recursos i materials, des de llibres de consulta fins a filtres, telescopis de diferents tipus, etc.



Zona de treball de l'aula d'astronomia. En el moment de la fotografia s'hi estava realitzat activitat sobre observació solar.

La cúpula es troba a la part superior de l'aula, s'hi accedeix a través d'una escala de caragol.

Imatge d'una altra part de l'aula, amb l'escala d'accés a la cúpula en primer pla.

A la fotografia podem observar un telescopi newtonià i material divers de consulta.



La cúpula, com el seu nom indica, té la forma de semiesfera, al mig hi ha els telescopis, que se sustenten gràcies a suport especial que evita les vibracions i li dona estabilitat.



Vista general del grup de telescopis de l'INS Maria Rúbies.

A la imatge de sota, s'observa la robustesa del suport.



El grup de telescopis està format per tres telescopis, un de principal (Meade LX 2000 EMC), un de secundari de menys potencia per tal de realitzar altres tipus d'observacions i un tercer telescopi que té com a objectiu realitzar el treball d'alineació.



Primer pla dels tres telescopis.

De dalt a baix:

- Telescopi secundari.
- Telescopi per a l'alineació.
- Telescopi principal.

La cúpula és giratòria i parcialment retràctil gràcies a l'accionament d'unes portes correderes, cosa que permet dirigir l'observació cap a l'indret que ens interressi. El terra és de fusta i al voltant de la mateixa hi ha uns bancs de fusta en forma de semicercle, que són utilitzats per tal que els visitants –en el nostre cas alumnat- segueixin les indicacions del professor i puguin prendre notes.



A la dreta, una imatge de l'exterior l'INS Maria Rúbies amb la cúpula de l'observatori astronòmic.

A sota, observem l'exterior de la cúpula de forma més



Un aspecte important en la construcció d'un cúpula és garantir la màxima l'estabilitat, d'aquesta manera es pretén reduir els efectes dels moviments provocats pels observadors, que poden ser molt perjudicials per a l'observació astronòmica. Per aquest motiu, en el moment de realitzar la construcció de la cúpula es va haver de instal·lar un entramat de bigues, que reforçés l'estructura.



Imatge de l'obertura de la cúpula.

A la imatge s'observa l'entramat de bigues, que és una mesura necessària per mirar de garantir l'estabilitat de la cúpula



6. ELS TELESCOPIS

Un telescopi, és bàsicament, un instrument òptic que recull la llum i la concentra en un sol punt mitjançant l'ús de miralls i lents. Aquesta concentració, produeix un augment virtual de la grandària de la nostra pupil·la permetent així observar objectes poc brillants que no podríem observar a simple vista i o massa llunyans per a poder ser vistos a ull nu.

6.1. Parts i paràmetres d'un telescopi

Els telescopis tenen bàsicament **tres parts**: el tub òptic, la muntura i el suport.

El **tub òptic** és la part més important del telescopi ja que, com indica el seu nom, conté tot el conjunt de lents i altres objectes que fan possible l'observació.

La **muntura**, és la part del telescopi que ens permet moure el tub òptic i orientar-lo cap a la zona que volem observar. La muntura pot ser manual o motoritzada i dintre de les motoritzades en podem trobar de computeritzades. Aprofundirem més en el tipus de muntures en apartats posteriors.

Finalment, trobem el **suport**, el qual, normalment està format per un trípode que aguanta i proporciona estabilitat al tub òptic i la muntura. Tot i això, en aquells telescopis que es situen de forma fixa en un lloc es poden utilitzar columnes com a suport fix.

El **paràmetre** més important que defineix un telescopi és el **diàmetre o obertura** del seu objectiu. L'objectiu compleix la funció de captar i concentrar la llum; per això, depenent de la grandària del mateix, els telescopis tindran més o menys augments i per tant seran útils per a l'observació d'objectes de diferent brillantor.

A més a més, com major sigui l'obertura, més disminuirà la distància angular que ha de separar dos objectes per tal de que siguin discernibles com a objectes individuals. La majoria de telescopis tenen uns objectius d'entre 76 i 150 mm útils per observar alguns detalls planetaris i molts objectes del cel profund.

Alguns altres paràmetres important a tenir en compte són els següents:

La **distància focal** és defineix com la distància des del mirall o lent fins al punt en el qual se situa l'**ocular** (l'ocular és la petita lent a través de la qual s'observa) i per tant, el punt on les imatges reflectides per les lents s'uneixen per tal de formar la imatge real. Els telescopis de distàncies focal llargues són menys lluminosos que els de distàncies focals curtes tot i que la majoria de



telescopis del mercat tenen distàncies focals mitjanes.

L'**augment d'un sistema òptic** és el nombre màxim de vegades que ens permet augmentar la grandària relativa de la imatge d'un objecte determinat. Els augments d'un telescopi són secundaris ja que encara que no ho sembli, quasi mai observem amb un telescopi al límit de la seva potència. Els augments d'un telescopi vénen determinats pel resultat obtingut en dividir la distància focal de la lent principal entre la distància focal de l'ocular. Tot i aquesta fórmula, el límit d'augment que pot tenir un telescopi ve determinat pel producte de la multiplicació del diàmetre de l'obertura per 2'3.

La relació focal està relacionada directament amb la distància focal i inversament amb el diàmetre de la lent ($\text{Relació focal} = \text{Distància focal} / \text{Obertura}$). Aquesta relació ens indica la lluminositat d'un telescopi. Com menor sigui aquesta relació, major serà la seva lluminositat. Aquest paràmetre és especialment important per a l'astrofotografia, ja que els telescopis més lluminosos necessiten un temps d'exposició menor per a realitzar fotografies.

6.2. Tipus de telescopis

Tipus de telescopis segons el tipus d'element que es fa servir per concentrar la llum

Principalment, podem diferenciar dos tipus de telescopis: els refractors i els reflectors.



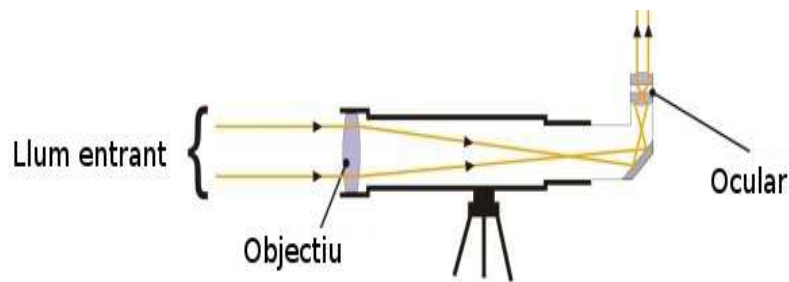
Reflector



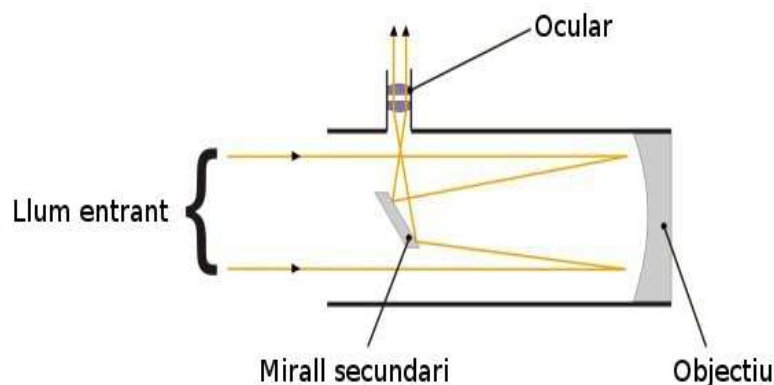
Refractor

1. Els **telescopis refractors** van ser els primers en ser creats i utilitzen un sistema de lents convergents en els quals la llum es refracta tal com indica el seu nom. La refracció de la llum en la lent de l'objectiu fa que els rajos paral·lels d'un objecte molt llunyà es concentrin en un plànol focal permetent així la formació de la imatge a través de l'ocular.

Els telescopis refractors, van ser utilitzats en les observacions de Galileu i de Kepler entre altres, però tenen problemes d'aberració cromàtica i esfèrica.



2. Els **telescopis reflectors**, utilitzen miralls enlloc de lents. L'objectiu, és un mirall còncav. El primer telescopi reflector fou creat per Isaac Newton l'any 1670 per tal d'evitar els problemes principalment d'aberració cromàtica dels telescopis refractors. Els telescopis reflectors són els més utilitzats en diàmetres d'obertura gran ja que resulta molt més senzill tant per la complexitat de realitzar i subjectar posteriorment lents de diàmetres molt grans com per l'elevat cost econòmic que suposaria.

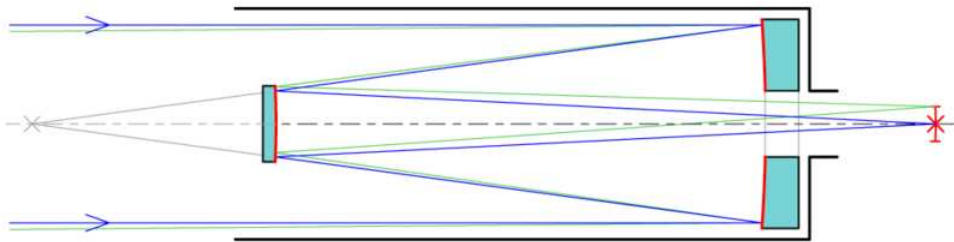


Dintre dels telescopis reflectors, bàsicament n'hi ha de dos tipus els reflectors simples i els reflectors catadiòptrics, aquests combinen lents i miralls. Dins d'aquest ventall encara podem diferenciar entre una gran diversitat de models, els més importants són:

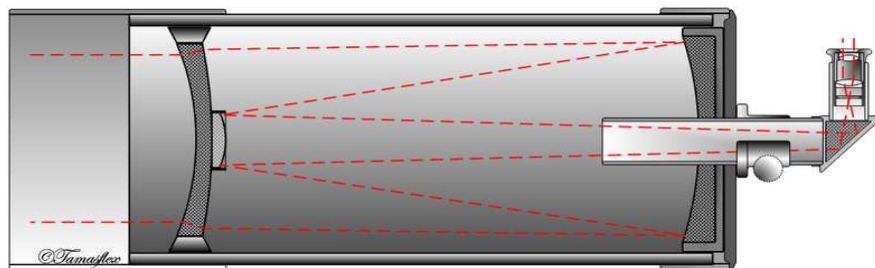


3. **Newtonians:** ideats per Isaac Newton, són els telescopis reflectors més senzills que hi ha, i per tant, els més econòmics. La imatge superior, mostra un telescopi del tipus newtonià.

4. **Cassegrain:** aquest telescopi, fou desenvolupat per Laurent Cassegrain l'any 1672 i combina un mirall còncau i un mirall convex alineats simètricament al voltant de l'eix òptic. El mirall primari és parabòlic i el secundari hiperbòlic tot i que existeixen variants en les quals s'intercanvia aquesta posició.



5. **Maksutov:** creat per l'òptic rus Dmitri Maksutov el 1944, aquest telescopi es caracteritza per combinar l'ús d'una lent esfèrica amb la utilització d'una lent correctora còncaua de menisc negatiu situada normalment al principi del telescopi i que permet eliminar l'aberració esfèrica i cromàtica. Tot i això, la variant més utilitzada d'aquest telescopi és la Maksutov-Cassegrain, en la qual s'utilitzen elements d'ambdós models per tal de crear un telescopi amb una lent secundària esfèrica i que permet la reducció del nombre de peces simplificant així el seu disseny. El **Maksutov-Cassegrain**, ha estat el telescopi utilitzat per la realització de la part pràctica del treball.



Tipus de telescopis segons la muntura

La muntura que utilitzem, també és un element clau per determinar les característiques i els usos que tindrà un telescopi. N'hi ha de dos tipus, l'altazimutal i l'equatorial.



La muntura **azimutal**, s'utilitza per a moure el telescopi al llarg dels eixos perpendiculars de moviment (horitzontal i vertical) el que ens porta a què les coordenades es refereixin i mesurin des de la posició de l'observador. El seu principal avantatge rau en la simplicitat del disseny dels seus mecanismes. Per contra, aquest tipus de muntura, impedeix el seguiment continuat d'objectes astronòmics, cosa que es pot evitar o si més no reduir mitjançant la computerització del telescopi .

Per altra banda, la muntura equatorial té un eix rotacional paral·lel a l'eix de rotació de la Terra i duu acoblat un segon eix de moviment perpendicular conegut com a declinació. L'avantatge principal d'una muntura equatorial es deu a la seva habilitat per suportar instrument subjectats de manera que poden seguir més fàcilment el moviment dels astres. Tot i això, en telescopis grans no resulta factible el seu ús ja que les muntures serien massa pesants i cares.



Telescopi Azimutal
<http://www.en.wikipedia.org>



Telescopi Equatorial
<http://www.en.wikipedia.org>

Telescopis segons el sistema de seguiment

Per acabar, segons el sistema de seguiment, distingim entre:

Telescopis Manuals, on el moviment es realitza a través d'uns poms manuals.

Telescopis Motoritzats, on el moviment del telescopi és realitzat per uns motors que s'encarreguen de contrarestar el moviment del cel. D'aquesta manera es pot mirar còmodament sense preocupar-se de si l'objecte es mou.

Telescopi GO-TO, amb muntures motoritzades i computeritzades que, a més a més de fer el seguiment com les anteriors, busquen automàticament els objectes per elles mateixes. Són muntures equipades amb miniordinadors que fan més fàcil l'observació. El telescopi utilitzat en el treball té aquesta muntura.



Part pràctica

