

El cel a l'abast de tothom

Alumne: Raül Castillo Gabarró
Data: 29 de gener de 2003
Curs: 2n C Batxillerat
Tutor: Anicet Cosials
Institut: IES Guindàvols

*«Així, des d'una distància
increïble podrem llegir lletres
minúscules... es faran baixar a
tocar amb la mà el Sol, la
Lluna i els estels»*

Roger Bacon

ÍNDIX

1. Introducció	1
2. Plantejament del problema.....	2
3. Coneixements previs	3
3.1. Història del telescopi.....	3
3.2. Tipus de telescopis	10
3.3. El telescopi de Newton, característiques i funcionament	13
3.4. Miralls i lents	18
3.5. Característiques òptiques del telescopi	29
4. Disseny experimental	32
4.1. Construcció del telescopi	32
4.1.1. Utillatge.....	32
4.1.2. Procediment	33
4.1.3. Esquema	42
4.2. Observacions astronòmiques	43
4.2.1. Observació de la lluna.....	43
4.2.2. Observació de les taques solars	45
5. Resultats obtinguts	48
6. Conclusions	52
7. Bibliografia.....	54
8. Annexos.....	56
I. Acoblament del telescopi a un trípode	56
II. Planisferi del cel.....	58

1. Introducció

El meu treball de recerca consisteix principalment en la construcció d'un telescopi amb el qual puguem fer observacions.

Quan vaig veure aquest treball al llistat de possibles treballs de recerca, vaig recordar que a 4rt d' ESO vaig fer un crèdit variable anomenat "llum i color" on vaig construir un telescopi casolà amb tubs de cartró. Aleshores vaig tenir la idea de fer aquest treball, ja que ja sabia alguna cosa sobre telescopis i em va atreure la possibilitat de construir un altre telescopi diferent i millor que el que vaig fer. Això em suposaria aprendre més coses d'aquest tema i a més a més és un treball que pot quedar molt bé i complet. Un cop vaig decidir fer aquest treball vaig començar la recerca.

El meu telescopi ha estat construït amb materials no gaire cars i fàcils d'aconseguir. Per començar he exposat una mica d'història dels telescopis i tota la informació necessària per saber construir un telescopi reflector. Després he descrit detalladament tots els passos que he seguit per construir el telescopi i fer que funcioni. Aquests van acompanyats de dibuixos i fotografies per tal de fer-ho tot més entenedor.

Un cop construït el telescopi vaig fer un parell d'observacions amb ell, aquestes també estan explicades al treball. Finalment, hi ha totes les dades relacionades amb el telescopi i el resultat de les observacions.

Espero que el treball us agradi i si pot ser, engrescar-vos a construir un telescopi com el meu. Això si, cal dedicar-hi bastant temps i ganes.

2. Plantejament del problema

Segur que tothom ha mirat el cel i la lluna detingudament alguna vegada. Des de fa segles l'home ha tingut curiositat per poder observar el cel, per això es van construir els telescopis. Actualment, un telescopi és un aparell òptic de molta precisió. Però el preu és molt elevat i no hi ha molta gent que estigui disposada a gastar-se molts diners en un telescopi. La pregunta principal que em faig en aquest treball és la manera de construir un telescopi amb materials casolans. Aquests són els problemes que m'he proposat:

Problema 1:

És possible que pugui construir un telescopi reflector amb materials no gaire cars i que funcioni mínimament bé? Com hauria de ser aquest telescopi i com podem construir-lo?

Problema 2:

Un cop construït el telescopi, quines són les seves característiques?

Problema 3:

Podem observar la lluna i les taques del sol amb el telescopi que he fabricat?

3. Coneixements previs

3.1. Història del telescopi

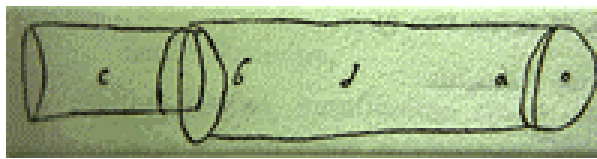
El telescopi és un dels principals instruments del que s'ha anomenat la Revolució Científica del segle XVII. Va revelar fenòmens insospitats del cel i tenia una influència profunda en la controvèrsia entre els seguidors de l'astronomia geocèntrica tradicional i aquells que afavorien el sistema heliocèntric de Copèrnic. Va ser la primera extensió de un dels sentits de l'home, i va demostrar que observadors ordinaris podien veure coses que ni Aristòteles havia somiat. Per abreviar, era el prototip dels instruments científics moderns. Però el telescopi no era una invenció dels científics; més aviat, era un producte dels artesans. Per aquesta raó, molta part del seu origen és inaccessible a nosaltres ja que la majoria dels artesans eren analfabets i per tant no han quedat escrits.

Les propietats de les lents divergents i convergents eren conegudes des de l'antiguitat, de fet, és possible que el telescopi fos conegut pels àrabs. Al segle XIII, existien vidres de qualitat raonable i relativament barats ja que en els centres més importants de fabricació de vidre de Venècia i Florència havien inventat tècniques per a moldre i polir vidre. Ja enmig del segle XIII, l'erudit anglès Roger Bacon escrivia profèticament en un paràgraf sobre possibles combinacions de miralls i lents còncaves: «*Així, des d'una distància increïble podrem llegir lletres minúscules... es faran baixar a tocar amb la mà el Sol, la Lluna i els estels*». Aproximadament en el 1450 ja es coneixien tots els materials necessaris per a construir un telescopi. Però si l'efecte telescòpic pot ser produït per varies combinacions de miralls i lents, perquè no es va inventar el telescopi al segle XV? No hi ha cap resposta bona a aquesta pregunta, exceptuant la possibilitat de que encara no hi havien lents i miralls prou bons i perfectes.

En la literatura de màgia blanca, tan popular al segle XVI, hi ha diverses referències sobre dispositius que permetien veure els enemics o monedes des de una gran distància. Però aquestes al·lusions es van llençar en clau i van ser acompanyades per històries fantàstiques; el telescopi, quan va aparèixer, era un aparell molt simple. És possible que a l'any 1570 els matemàtics anglesos Leonard i Thomas Digges, a Anglaterra, realment construïssin un instrument que consistia en una lent divergent i un mirall, però si això

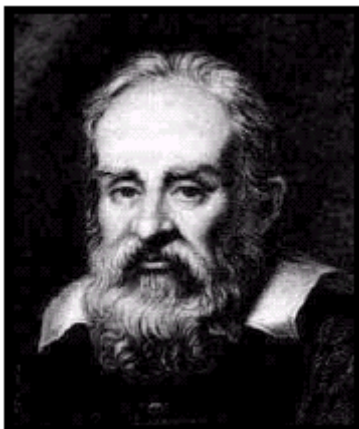
demonstrés ser cert, era un aparell experimental que mai es va arribar a comercialitzar com a un instrument. Sabem això gràcies a que Leonard Digges va escriure cap al 1571 sobre els «efectes miraculosos de les lents perspectives».

El telescopi com a tal es va descobrir als Països Baixos. A l'octubre de 1608, a La Haya, es van discutir les aplicacions patents, primer de Hans Lipperhey de Middelburg, i després de Jacob Metius d'Alkmaar, d'un dispositiu per "*veure coses llunyanes com si estiguessin a prop*". Consistia en una lent divergent i una altra convergent en els extrems de dos tubs, un dins de l'altre. La combinació ampliava tres o quatre vegades. Els governants van trobar el dispositiu massa senzill de copiar per a atorgar-li la patent, però van donar un petit premi a Metius i Lipperhey encarregant-los a fer diverses versions del telescopi, per les que van ser ben pagats. Se sap que un altre ciutadà de Middelburg, Sacharias Janssen, disposava d'un telescopi aproximadament durant les mateixes dates, però el va portar al Frankfurt Fair on el va vendre.



Aquesta és la il·lustració més antiga coneguda d'un telescopi.

Giovanni della Porta va incloure aquest esbós en una carta escrita a l'agost de 1609.



Galileu Galilei

Les notícies d'aquesta nova invenció es van estendre ràpidament a través d'Europa, i el propi instrument es popularitzà ràpidament. A la primavera del 1609 podien comprar-se alguns telescopis de tres augments en algunes òptiques de París i quatre mesos més tard ja n'hi havia molts a Itàlia. Se sap que Thomas Harriot va observar la Lluna amb un telescopi de sis augments a l'agost de 1609. Però va ser Galileu qui va elevar aquest aparell a la categoria d'instrument

d'observació astronòmica per excel·lència.

Amb ell s'inicià la veritable història del telescopi i de l'astronomia moderna.



Telescopis de Galileu

Galileu va inventar un sistema òptic compost per una lent divergent davant i una convergent darrera per millorar la imatge. Ell va construir els seus primers telescopis de tres augments al juny o juliol de 1609, a l'agost va presentar un telescopi de vuit augments al Senat venecià, i va tornar amb un telescopi de vint augments a l'octubre o novembre. Els seus telescopis eren senzills instruments de llauna, amb lents de menys de 5 centímetres de diàmetre. Van ser els primers telescopis refractors. Amb aquest instrument ell va observar la Lluna, va descobrir quatre satèl·lits de Júpiter, i va resoldre dubtes sobre els estels. També va publicar un llibre al març de 1610.

Verificar els descobriments de Galileu era inicialment difícil. A la primavera del 1610 ningú tenia telescopis de suficient qualitat com per a veure els satèl·lits de Júpiter, encara que molts tenien instruments més senzills amb els que ells podien veure algun detall de la lluna que Galileu havia descrit al seu llibre. L'avantatge de Galileu estava en la pràctica, no en la teoria, i es va trigar aproximadament sis mesos abans que altres poguessin obtenir instruments suficientment bons per poder veure les llunes de Júpiter. A mitjans de 1611, l'avantatge que portava Galileu gairebé havia desaparegut. El pròxim descobriment, el de les taques solars, va ser fet per diversos observadors, fins i tot per Galileu.

Un telescopi de Galileu típic amb el que es podien observar les llunes de Júpiter es constituïa del següent. Tenia un objectiu pla-convexe i un ocular pla-còncav. L'ocular

era una part de tub que podia ajustar-se per enfocar. La lent de l'objectiu estava col·locada al fons d'una obertura i el camp de visió era aproximadament 15 arcs-minut. L'ampliació de l'instrument era 15-20. El vidre estava ple de petites bombolles i tenia un color verdós (causat pel volum fèrric del vidre); el comportament de les lents era bo a prop del centre però dolent a la perifèria; el poliment era bastant precari. El problema d'aquest tipus d'instrument era el seu petit camp de visió, només es podia veure un quart de la Luna plena en el camp de visió.

Durant les següents dècades, les tècniques de llimat i tallat de lents van millorar gradualment, com una artesanía especialitzada en la fabricació de telescopis. Però com que els telescopis de Galileu es van començar a construir amb augments més grans, resultaven gairebé inútils ja que el seu camp de visió encara es feia més petit.



Johannes Kepler

Ja al 1611 Johannes Kepler havia demostrat que un telescopi també podia estar fet combinant un objectiu convex i un ocular convex. Ell va remarcar que aquesta combinació produiria una imatge invertida, però va mostrar que amb una tercera lent divergent es podia invertir la imatge de nou. Aquest suggeriment no va ser acollit immediatament pels astrònoms fins que Christoph Scheiner va publicar la seva "Rosa Ursina" al 1630, que aquest tipus de telescopi es va començar a estendre. En el

seu estudi de taques solars, Scheiner havia experimentat amb telescopis amb oculars convexos per veure la imatge del Sol projectada a través del telescopi de Galileu. Però quan ell va intentar fer el mateix amb un de lents divergents, ell comprovà que encara que la imatge era invertida, era molt més brillant i el camp de visió era més gran que en un telescopi de Galileu. Les avantatges del que es va conèixer com el telescopi astronòmic van portar a la seva acceptació general a la comunitat astronòmica cap a meitat de segle.

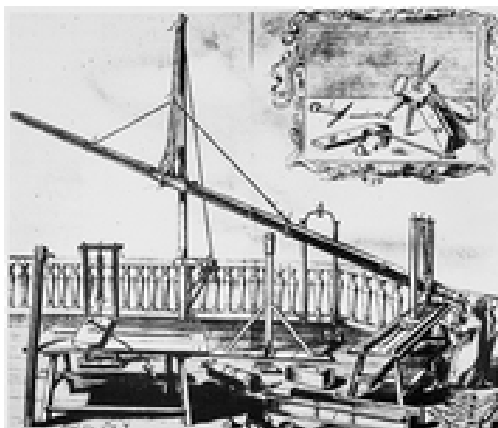
El telescopi de Galileu podia usar-se tant per a les observacions terrestres com celestials. Això no era aplicable al telescopi astronòmic amb la seva imatge invertida. Els astrònoms van refusar la tercera lent divergent necessària per tornar a invertir la imatge perquè amb més lents els defectes òptics es multipliquen.

A la segona meitat del segle XVII, el telescopi de Galileu es va reemplaçar per funcions terrestres pel "telescopi terrestre," que tenia quatre lents divergents: objectiu, ocular,

lent per invertir la imatge, i una lent del camp (que fins i tot augmentava més enllà del camp de visió).

Amb l'acceptació del telescopi astronòmic, el límit en amplificació causada pel petit camp de visió del telescopi de Galileu es solucionà temporalment. Per culpa dels defectes òptics, la curvatura de lents va haver de ser minimitzada, i això va obligar a augmentar l'amplada del tub i també la longitud focal del objectiu. A l'any 1640, la longitud dels telescopis va començar a augmentar. Del telescopi de Galileu típic de 5 o 6 peus de longitud, es va passar als telescopis astronòmics amb longituds de 15 o 20 peus. Un telescopi astronòmic molt espectacular va ser el que va construir Christiaan Huygens, al 1656. Tenia una longitud de 23 peus; el seu objectiu tenia una obertura de diverses polsades, augmentava aproximadament 100 vegades, i el seu camp de visió era de 17 arc-minuts.

Els telescopis havien tornat a trobar el punt on els grans augments restringirien massa el camp de visió de l'instrument. Aleshores, un altre instrument òptic, la lent del camp, va aparèixer. Afegint una tercera lent divergent, de longitud focal apropiada, i en el lloc correcte, augmentava el camp significativament i va permetre ampliacions més grans. La mida del telescopi continuava augmentant constantment. A principis del 1670, Johannes Hevelius havia construït un telescopi de 140 peus (49 metres).



Telescopis de Hevelius de 60 i 140 peus de longitud (1673)

Però la dificultat del seu maneigament era evident. A més a més, aquests telescopis tan llargs eren inútils per a la observació: era gairebé impossible de mantenir les lents alineades i qualsevol ràfega de vent feia tremolar l'instrument. Encara que alguns

descobriments es van fer amb aquests telescopis tant llargs, aquest tipus de telescopi havia arribat als seus límits. Al començament del segle , els telescopis tant llargs ja no es portaven, i els grans augments van arribar al 1730 amb un nou tipus de telescopi, el telescopi reflector.

Des de que van ser coneguts els efectes d'aquest telescopi es van usar molta varietat de combinacions de lents i miralls, diversos científics van especular de combinacions que involucraven miralls. Moltes d'aquestes especulacions eren refusades per l'estudi teòric del telescopi. René Descartes va dir que en una lent esfèrica prima, no tots els raigs incideixen paral·lels a l'eix òptic, estan units en un punt. Aquests més llunyans a l'eix òptic s'apropen a un enfocament a la part del darrera de la lent més propera a l'eix òptic. Descartes havia descobert aquesta llei a partir de la de la refracció de Willebrord Snell i això li va permetre quantificar l'aberració esfèrica. Per eliminar-ho, ell va mostrar la curvatura que la lent havia de tenir, un plano-hiperboloidal o esferico-elipsoidal. La seva demostració va animar a molts a intentar fer objectius plano-hiperboloidals, un esforç que es va condemnar al fracàs per la incapacitat de llimar les lents correctament. Altres van començar a conèixer les avantatges d'un mirall paraboidal còncav que funcionés com a receptor primari: es sabia des de l'antiguitat que un mirall així portaria raigs incidents paral·lels en un punt d'enfocament.

Un segon desenvolupament teòric va arribar al 1672, quan Isaac Newton va publicar la



Isaac Newton

seva famosa teoria de la llum i els colors. Newton va mostrar que la llum blanca és una barreja de llums de colors de diferent grau de refracció: cada color tenia el seu propi grau de refracció. El resultat era que qualsevol lent corbada descompassava la llum blanca en els colors de l'espectre, cada un dels quals s'enfoca en un punt diferent a l'eix òptic. Aquest efecte que es va conèixer com a aberració cromàtica, produïa una imatge central, sent rodejada per

cercles de colors diferents. Newton havia desenvolupat la seva teoria de la llum diversos anys abans. Ell va decidir provar un nou mirall per a corregir-la, però diferentment als seus predecessors ell va poder posar la seva idea a la pràctica. Ell va fer un mirall de dos polsades d'ample de metall (bàsicament coure amb algun estany) i ho va llimar amb curvatura esfèrica. Ho va posar al fons d'un tub i va fer reflectir els raigs en un mirall secundari amb una inclinació de 45° que va reflectir la

imatge en una lent ocular divergent fora del tub. Va enviar aquest petit instrument a la Real Societat de Londres, on va causar sensació; va ser el primer telescopi reflector. Però l'esforç va acabar allí, el mirall no era perfecte i no corregia perfectament l'aberració cromàtica.



*Telescopi reflector
de Newton (1671)*

Només fins al 1721, John Hadley va aconseguir construir el primer telescopi reflector amb un mirall de curvatura perfecta

capaç de superar als telescopis refractors. Els telescopis reflectors es van popularitzar desplaçant als refractors.

La obra de Newton va crear la creença que era impossible construir un telescopi acromàtic. Tot i així, el britànic Chester More Hall i l'òptic George Bass ja n'havien fabricat i venut alguns feia anys. Al 1747, Euler va demostrar la possibilitat de corregir les aberracions cromàtiques. L'òptic anglès John Dollond, criticant les idees de Newton, va mantenir amb ell una polèmica durant el 1752 i el 1753. Però dos anys després, Dollond va demostrar els errors que havia comès Newton. Finalment, al 1758 es va presentar a la Real Societat de Londres el primer reflector acromàtic construït per Dollond. La invenció de l'objectiu acromàtic de Dollond i el perfeccionament del vidre flint, aviat van permetre la construcció de telescopis reflectors molt perfeccionats. Les lents del telescopi de Dollond tenien un diàmetre entre 7,5 i 10 cm; en qualsevol cas tots aquests telescopis tenien dimensions petites. A finals del segle XVIII Pierre Louis Guinand, un òptic suís, va descobrir els mètodes per a fabricar grans discs de vidre flint; després es va associar amb el físic alemany Joseph von Fraunhofer. El descobriment de Guinand va permetre la fabricació de telescopis de fins a 25 cm de diàmetre.

Molt més endavant, amb l'aparició de nous dissenys es van inventar diferents tipus de telescopis com els mixtos del tipus Schmidt (1930), un telescopi combinat reflector-refractor que pot fotografiar amb nitidesa àmplies àrees del cel, els Maksutov (1944) o els més actuals Schmidt-Cassegrain, que combinen lents, miralls i redueixen, a més a més, la longitud de l'aparell.

Actualment, el futur ens guarda projectes de complicats telescopis que esperen el moment propici per a ser desenvolupats. Per un costat, estan els telescopis compostos, que la seva lent principal està formada per multitud de petits miralls, que són més fàcils i barats de fabricar que un de gran diàmetre. Tots aquests mirallets estan controlats per potents ordenadors que sumen les imatges individuals que capten. Per l'altre, tenim els

telescòpis amb revolucionàries òptiques adaptables, la seva capacitat per variar la forma de la lent principal permet eliminar determinats problemes òptics com els que sorgeixen al passar el raig de llum d'un estel per l'atmosfera terrestre. Sense oblidar tampoc la posada en òrbita de nous telescòpis espacials que substituiran al veterà Hubble, que tants espectaculars resultats i imatges ens ha donat en els últims anys.

3.2. Tipus de telescopis

Actualment existeixen diversos tipus de telescopis. Però tots els tipus es poden classificar en grups. Els tres grups següents són els més comuns avui en dia:

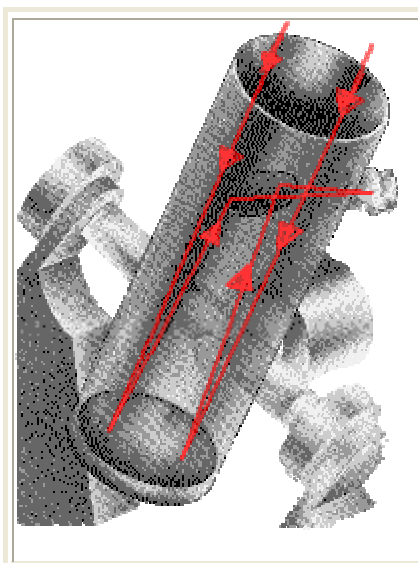
-REFRACTOR: Com hem vist abans, és el més antic de tots. Consisteix en una lent a través de la qual passen els raigs lluminosos i els fan convergir cap al focus de manera similar a la d'una lupa. Quan són al focus, una altra lent anomenada "ocular" recull els raigs i els dirigeix cap a l'ull.

-REFLECTOR: Inventat per l'anglès Isaac Newton al 1672. En lloc d'una lent que refracta la llum, s'utilitza un mirall esfèric o parabòlic que recull la llum en un punt anomenat focus. Després la llum és desviada cap a l'ocular mitjançant un mirall pla.

-CATADIÒPTRIC: És una combinació dels dos anteriors i també és més difícil de construir. La seva principal avantatge és que són de menor longitud, ja que la trajectòria de la llum es dobla, i com a conseqüència, el telescopi és més manejable. En general un telescopi refractor del mateix diàmetre que un reflector, pot produir imatges de millor qualitat que el reflector, però a un cost molt més gran.

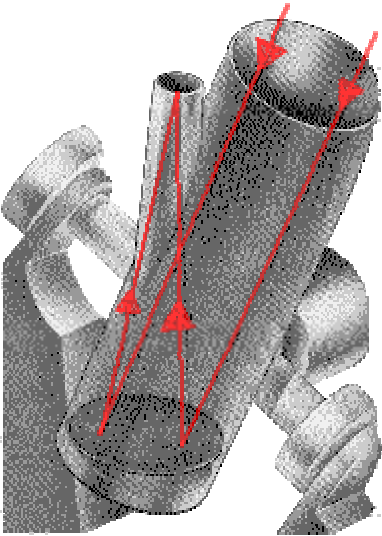
Dins el tipus de telescopis reflectors hi ha altres models diferents de telescopi, cada un amb el seu nom:

- Model newtonià



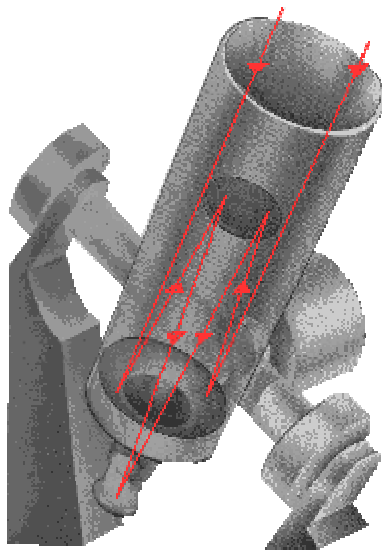
Al model Newtonià, la llum rebota en un mirall parabòlic i és reflectida cap a enrera dirigint-se a un petit mirall pla inclinat amb un angle de 45° , el qual dirigeix els raigs de llum cap al costat del tub, on es forma una imatge la qual és amplificada per l'ocular. El fet que el mirall pla bloquegi una mica la llum del mirall principal no és important.

- Model Herschelià



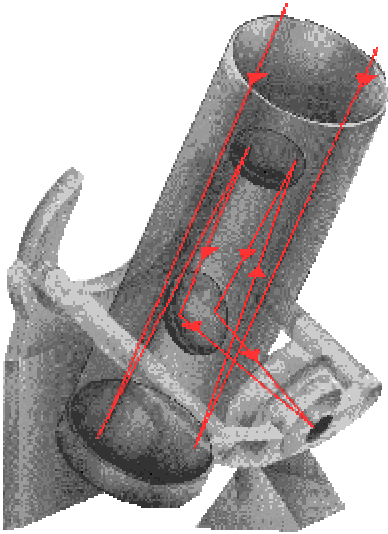
El model Herschelià (inventat per Sir William Herschel, el millor fabricant de telescopis del segle XVIII) va ser un intent per evitar el mirall pla. El mirall principal estava inclinat amb un cert angle, i la imatge es formava en un costat del tub. Desafortunadament s'introduïen distorsions, i els ajustaments eren extremadament difícils i delicats. El model Herschelià ara ha desaparegut.

- Model de Cassegrain



En el model de Cassegrain, el mirall secundari és convex, i la llum és reflectida cap enrera del tub a través d'un forat en el mirall principal; aquesta és portada al focus i augmentada per un ocular d'una manera inusual. En alguns casos no hi ha perforació del mirall principal, s'introdueix un secundari pla per a dirigir els raigs cap al costat del tub. Els Cassegrain poden proporcionar grans augmentos, i els seus tubs curts fan que sigui fàcil manejar-los en comparació amb els llargs Newtonians.

- Model de Coudé



L'arreglament de Coudé inclou un mirall secundari i un mirall addicional rotatori a l'eix polar del telescopi. Després que els raigs són reflectits en una direcció constant, es forma una imatge estacionaria i l'observador no necessita moure's a mesura que el telescopi gira. Això té la gran avantatge que els equips pesats poden ajustar-se i romandre estacionaris. Els telescopis reflectors més grans i moderns tenen un focus Coudé; aquest s'aplica, per exemple, al reflector Hale de 508cm, a Palomar. El principi de Coudé també s'aplica ocasionalment als telescopis refractors.

3.3. El telescopi de Newton, característiques i funcionament

Parts d'un telescopi reflector de Newton:

El telescopi de Newton es compon d'un mirall primari, aquest concentra la llum en un con, aleshores el mirall pla secundari, la desvia al costat, aquest con de llum es dirigeix a l'ocular. Per a sostenir el sistema òptic nosaltres necessitem un tub. El mirall primari s'uneix al tub per la cel·la primària, i el mirall secundari amb una estructura que l'aguanta al tub. Aquesta estructura s'agafa al tub per dos, tres o quatre braços. Aquesta estructura també és anomenada aranya. Per l'altre costat, l'ocular necessita un portaocular per aguantar l'ocular al tub i així poder enfocar la imatge.

En el moment de dissenyar un telescopi, cada astrònom té el seu propi criteri i depèn de la seva experiència, propòsit final del telescopi, etc. A continuació hi ha la descripció de les parts principals del telescopi:

- Objectiu:

També conegut com a mirall primari. Els paràmetres principals per a especificar un mirall primari són el seu diàmetre i la seva longitud focal. La longitud focal és la distància entre la superfície del mirall i pla focal o focus. Sota certes condicions (longituds focals grans) el mirall primari d'un telescopi de Newton pot ser esfèric en lloc de parabòlic. Això, proporciona un mètode més simple per a fer la forma del mirall primari, perquè és més fàcil de fer un mirall esfèric que un mirall parabòlic. Normalment els miralls que utilitzen els telescopis reflectors tenen una amplada de dos o tres centímetres per evitar possibles deformacions de la imatge.



Mirall primari

- Cel·la:

La seva funció és subjectar el mirall primari i permetre fer ajustos fins a fer alinear el seu eix òptic amb les altres parts del telescopi. L'alineació normalment s'efectua per mitjà de tres cargols situats a la part posterior de la cel·la.



Mirall primari muntat a la cel·la

- Mirall secundari o diagonal:

És l'encarregat de desviar la imatge reflectida del mirall primari cap a l'ocular.

El mirall secundari suposa una obstrucció a la llum que entra al telescopi. La mida del secundari determina la obstrucció i la mida del cercle en el pla focal que rep el 100 per cent de la llum entrant reflectida pel mirall primari (menys la obstrucció). Aquest àrea s'anomena àrea totalment il·luminada.

Un mirall secundari petit produeix una obstrucció petita i una àrea totalment il·luminada molt petita, i no agafarà tota la llum recollida pel mirall primari. Per l'altre costat, un secundari més gran produeix una àrea totalment il·luminada gran, una obstrucció més gran i redueix el contrast de la imatge final. Si nosaltres volem usar el telescopi per a l'astrofotografia, aquesta mida ha de ser tan gran com el dispositiu fotogràfic. Per a l'ús visual, la mida de l'àrea totalment il·luminada depèn del diàmetre de la lent de camp de l'ocular. Aquesta lent té, aproximadament, el mateix diàmetre que la longitud focal de l'ocular, així, si nosaltres utilitzem un ocular d'una longitud focal de 7 mil·límetres, nosaltres necessitem una àrea totalment il·luminada de 7 mil·límetres o menys. No és estrictament necessari tenir aquestos 7 mil·límetres perquè els oculars tenen alguna pèrdua de llum prop de les cantonades.



Mirall secundari muntat

- Porta-diagonal:

La seva funció és mantenir el mirall diagonal alineat amb el mirall principal i amb l'ocular, pot muntar-se amb una tira d'alumini o de fusta prima de 1-2 mm d'amplada. També s'anomena aranya.

- Porta-ocular:

El porta-ocular proporciona un suport a l'ocular o a un dispositiu fotogràfic, d'aquesta manera, el porta-ocular ens permet enfocar l'ocular al pla focal que forma el mirall primari. Hi ha dos mides comuns (diàmetre) de porta-ocular, 1.25 i 2 polsades. Depenent d'aquesta mida i la longitud del porta-ocular, el porta-ocular causa una obstrucció determinada. La obstrucció és una reducció de la quantitat de llum que arriba al pla focal. Aquesta reducció ocorre quan el con de llum talla un objecte que hi ha en el seu camí. La obertura davantera del tub també pot produir obstrucció. L'àrea totalment il·luminada és l'àrea on qualsevol tipus d'obstrucció es produeix, el 100 per cent dels raigs que recull el mirall primari, arriben al pla focal.

- Ocular:

El telescopi forma una imatge en el pla focal, l'ocular usa una combinació de lents per a augmentar aquesta imatge i mostrar-la. Normalment els oculars tenen dos lents com a mínim, la lent del camp que concentra la llum damunt d'un camp més ample, i la lent de l'ull que fa l'ampliació. Existeixen molts tipus d'oculars, Huguens, Erfle, Plossl, el orthoscopic, etc., però tots ells tenen paràmetres comuns. Aquests paràmetres són la longitud focal de l'ocular i el camp de visió. El camp de visió és l'angle del camp de vista del telescopi que es veu a través de l'ocular.



Dos tipus diferents d'oculars

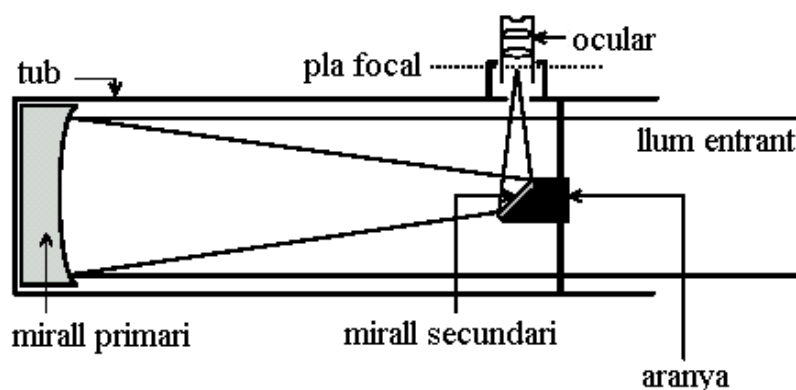
- Tub:

El tub és el suport per a tots els components del telescopi, pot ser de PVC, de cartró, de fusta... El diàmetre del tub ha de ser uns mil·límetres més gran que el diàmetre de l'objectiu, amb la fi de que l'aire circuli més fàcilment, no obstruir el pas de la llum i evitar fregaments.

- Buscador:

La seva funció és centrar de manera aproximada, els objectes a observar. Pot ser un parell de lents alineades amb l'eix del telescopi, un petit telescopi o la meitat d'uns binoculars. Una vegada trobat l'objecte, Júpiter per exemple, es centra de manera aproximada i després es procedeix a centrar-lo de manera més precisa amb l'ocular.

- ESQUEMA DE SECCIÓ D'UN TELESCOPI REFLECTOR



En aquest esquema de secció del telescopi reflector newtonià, podem apreciar la disposició dels diferents elements necessaris per construir el telescopi.

A l'esquema superior, es pot apreciar com va col·locat en el fons del tub el mirall

primari. Normalment aquest mirall estaria agafat amb la cel·la que el permetria regular per a que el con de llum reflectida incideixi completament al mirall secundari. També podem apreciar la disposició dins del tub del mirall secundari muntat sobre la seva aranya en un angle de 45° , coincidint amb la sortida on està situat l'ocular. El recorregut de la llum que prové d'un objecte situat a l'infinit, arriba fins el mirall primari situat en el fons del tub, després es reflecteix al mirall secundari i arriba a l'ull de l'observador a través de l'orifici del porta-ocular, que a la vegada conté a l'ocular que ens permetrà observar l'objecte ampliat. Podem veure que el pla focal coincideix amb la posició de la lent de l'ocular.

3.4. Miralls i lents

En aquest apartat descriu alguns coneixements de reflexió i refracció de miralls i lents que van relacionats amb el funcionament d'un telescopi reflector.

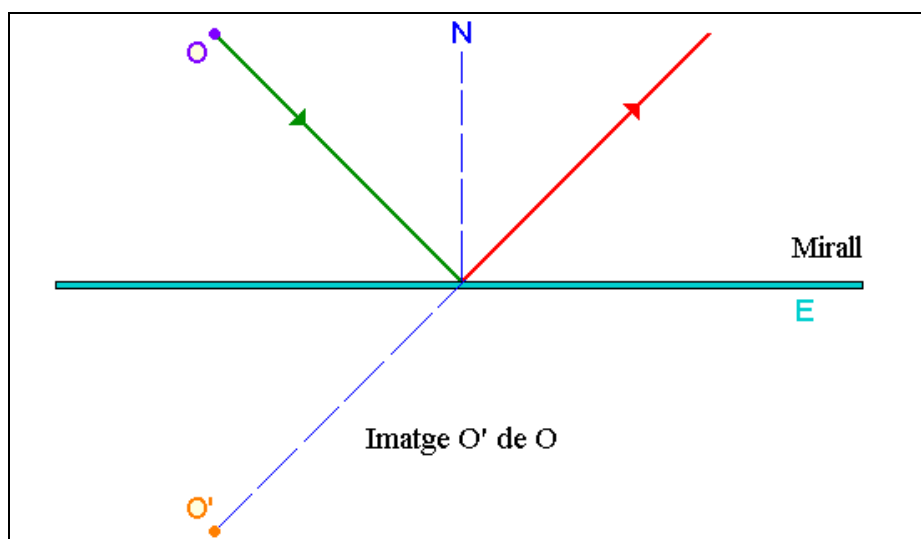
MIRALLS PLANS

Un mirall és un cos en el que es reflexa tota la llum que arriba a ell.

Generalment estan formats per una làmina de vidre i a la seva part posterior s'hi disposa una fina pel·lícula de plata que té un alt poder de reflexió.

De fet, els miralls perfectes no existeixen, però es pot considerar que, en general, els que trobem al mercat són de molt bona qualitat.

Mirem com es forma la imatge d'un punt en un mirall pla:

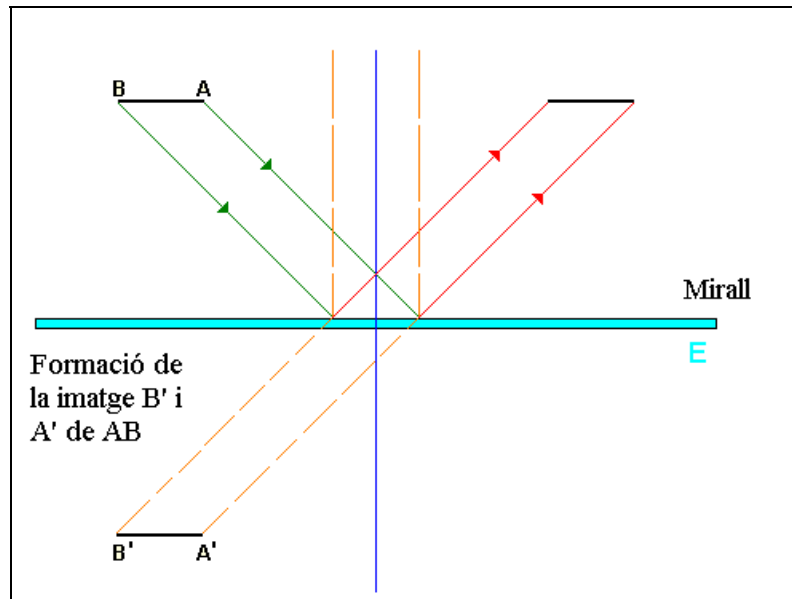


Cada un dels raigs de llum que surten del punt O i arriben al mirall es reflecteixen seguint les lleis de la reflexió.

Si ho observem, veurem que els raigs reflectits arriben a l'observador com si procedissin del punt O' situat darrera del mirall, que és el punt en el qual convergirien tots els raigs reflectits pel mirall.

Un observador que miri els raigs reflectits veurà el punt O situat en O', que serà el seu simètric respecte al mirall.

Per a la formació de la imatge d'un objecte extens formem la imatge de cada un dels seus punts:

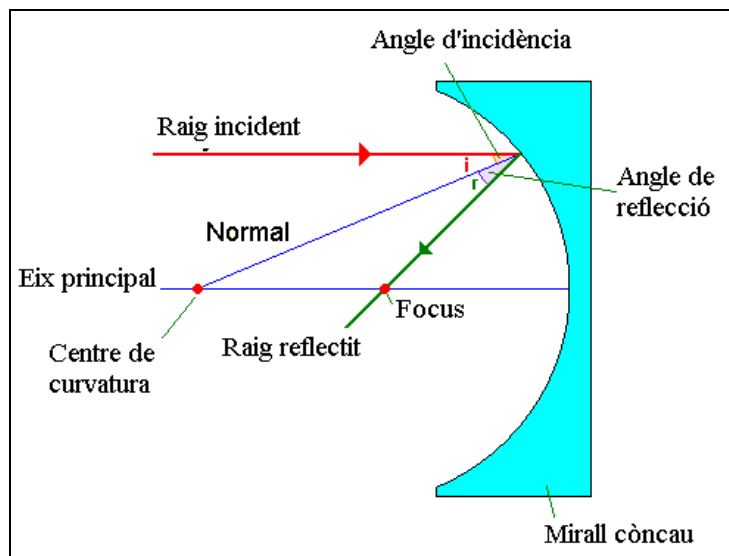


Si ens situem davant d'un mirall que no sigui pla, aquest reflectirà imatges deformades, allargades o aixafades.

Això no és perquè no es compleixin les lleis de la reflexió, sinó perquè en un mirall corbat la direcció de la normal canvia en cada punt de la superfície.

MIRALLS ESFÈRICS

Els miralls esfèrics són miralls corbats, i es construeixen amb porcions de superfícies esfèriques.



En els miralls esfèrics també es compleixen les lleis de la reflexió.

Els raigs es reflecteixen formant amb la normal un angle igual al d'incidència.

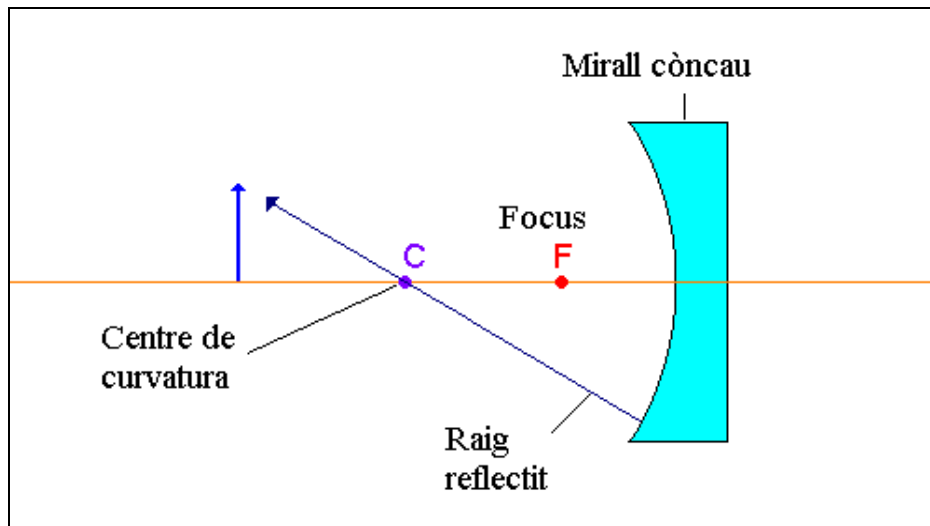
Hi ha dos tipus de miralls esfèrics:

Còncaus i convexos.

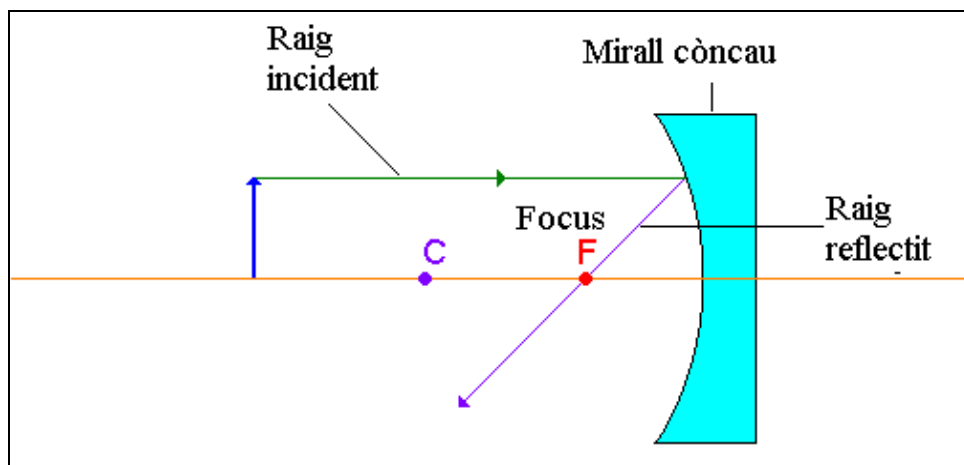
MIRALLS CÒNCAUS

En un mirall còncau, els raigs de llum segueixen els següents principis:

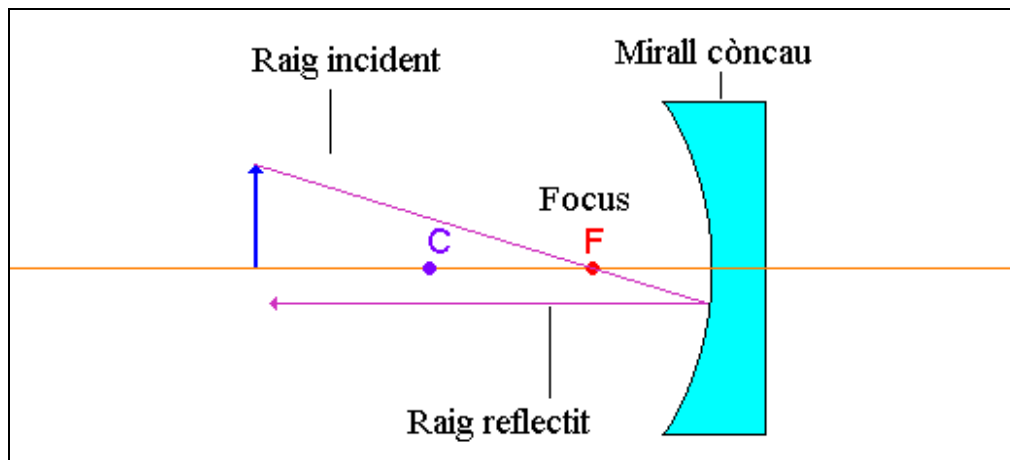
- 1) Un raig que incideix passant pel centre de curvatura es reflecteix sobre ell mateix sense patir cap desviació:



- 2) Un raig que incideix paral·lelament a l'eix principal es reflecteix passant per un punt situat sobre l'eix principal, anomenat focus del mirall:



3) Un raig que incideix passant pel focus es reflecteix paral·lelament a l'eix principal del mirall:

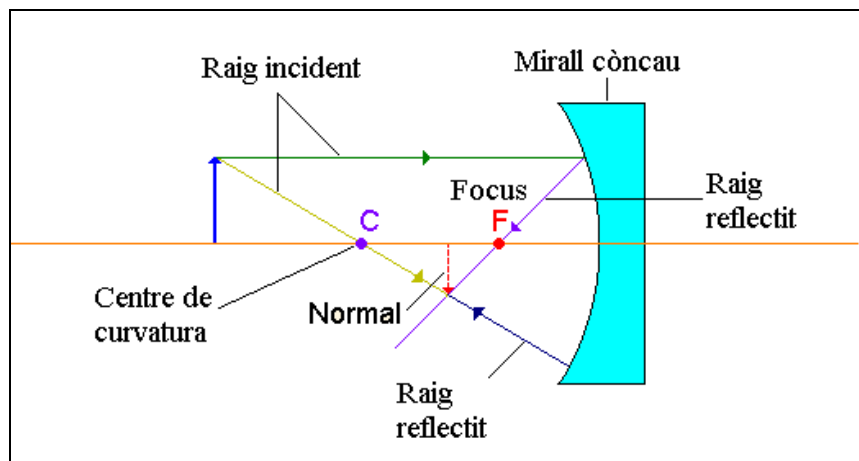


CONSTRUCCIÓ DE LA IMATGE EN MIRALLS CÒNCAUS

Segons sigui la situació de l'objecte respecte al mirall, tindrem imatges diferents.

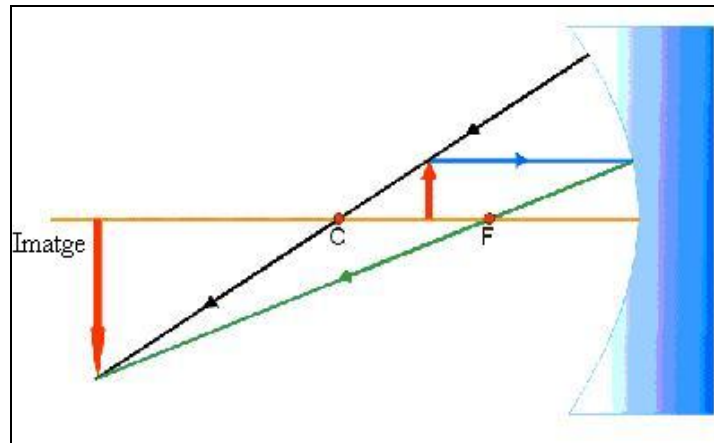
Mirem els tres casos:

a) L'objecte està situat més enllà del centre de curvatura:



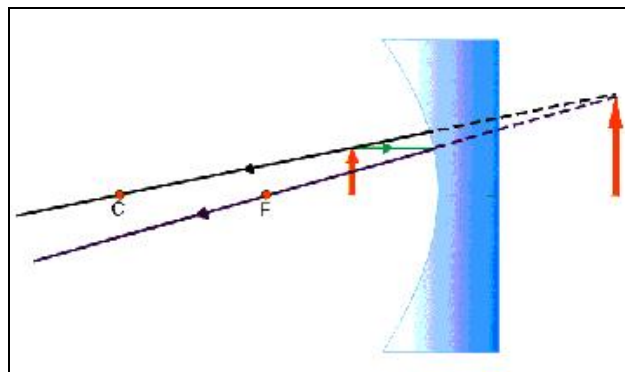
La imatge formada serà real, més petita que l'objecte, invertida i situada entre el centre de curvatura i el focus.

b) L'objecte està situat entre el centre de curvatura i el focus:



La imatge serà real, més gran que l'objecte, invertida i situada més enllà del centre de curvatura.

c) L'objecte està situat entre el focus i el centre del mirall:

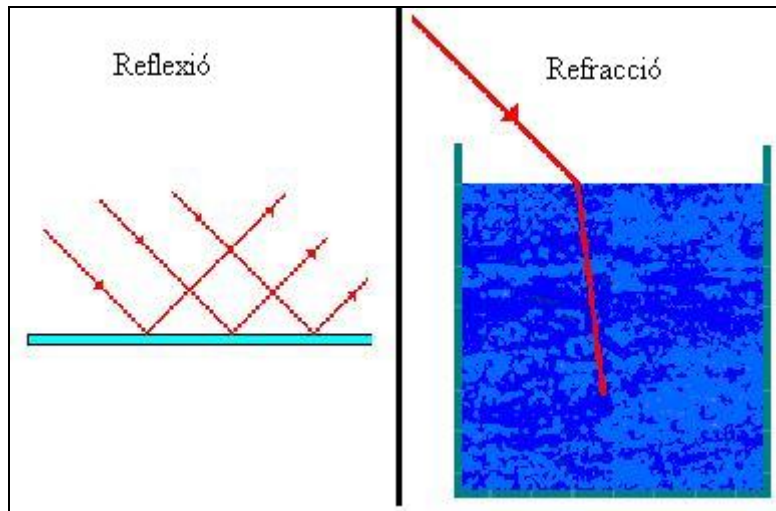


La imatge serà virtual, més gran que l'objecte, sense invertir i situada darrera del mirall.

REFRACCIÓ

Hem vist el que passa quan la superfície de separació de dos medis reflecteix la llum rebuda, és a dir, la desvia i fa que segueixi propagant-se en el mateix medi.

En canvi, en molts casos, la llum, quan arriba a la superfície de separació de dos medis, es propaga pel segon medi. Això s'anomena refracció.

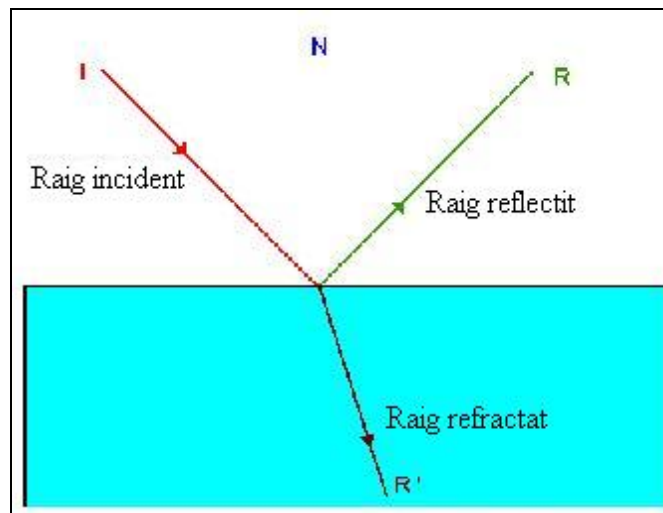


Ara bé, hem dit que la velocitat de propagació de la llum depèn de les característiques del medi pel que es propaga.

Aleshores, al passar d'un medi a un altre variarà la seva velocitat de propagació.

Suposem un raig de llum que es propaga per l'aire i travessa la superfície de separació entre l'aigua i l'aire.

Part de la llum que arriba a ella es reflecteix, és a dir, es desvia seguint les lleis de la reflexió, i part es propaga per l'altre medi, patint també una desviació.



A aquest segon raig que canvia de medi de propagació l'anomenem raig refractat.

Al fenomen de canvi de medi en la propagació d'un raig de llum se'l denomina refracció.

El raig incident, el refractat i la normal estan en el mateix pla.

LENTS PRIMES

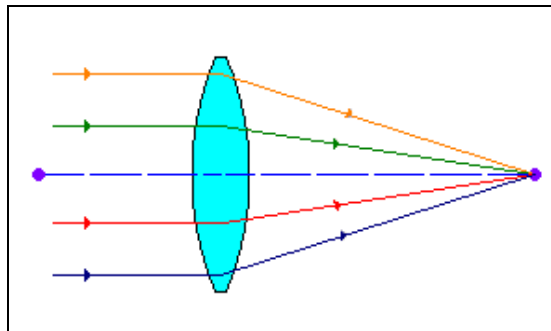
Basant-nos en les senzilles lleis de la refracció podem comprendre fàcilment la formació d'imatges a les lents.

Una lent és un cos transparent llimat per dos superfícies, de les que com a mínim una és corbada.

Distingim dos tipus de lents, segons sigui el seu efecte sobre els raigs de llum:

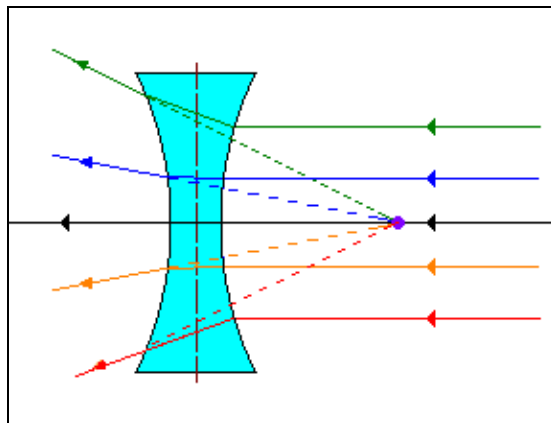
Convergens

Són les que tendeixen a unir els raigs de llum que reben:

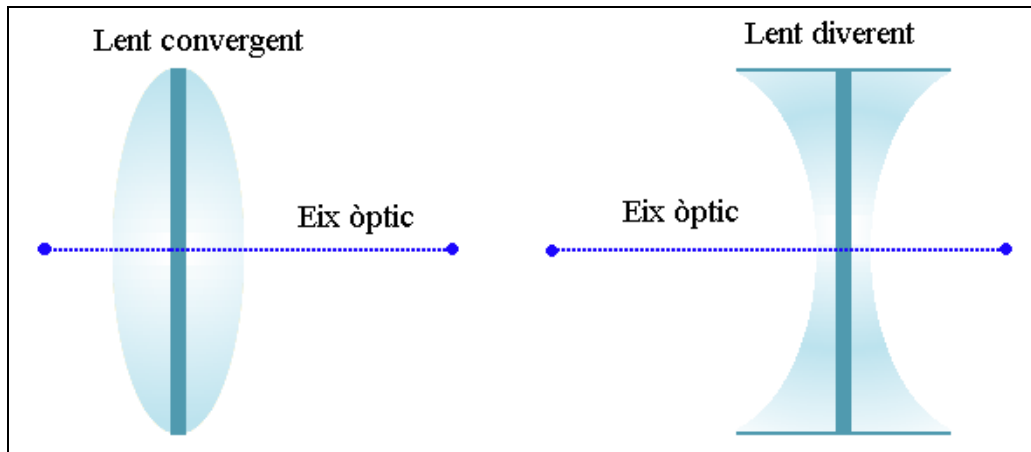


Divergents

Són les que tendeixen a separar-los:



La línia que uneix els centres de curvatura de les dos cares de la lent s'anomena eix òptic de la lent.



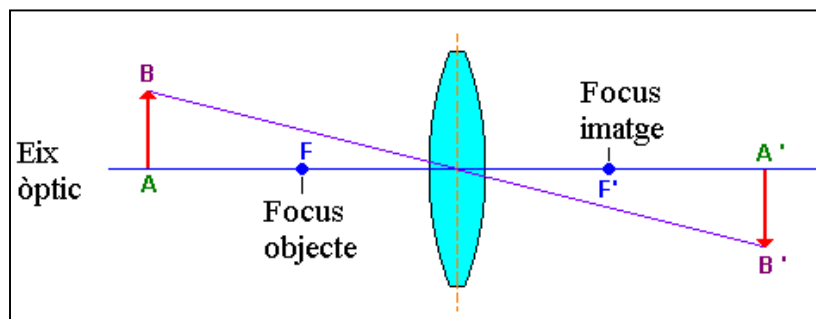
Els raigs que arriben a la lent en la direcció de l'eix no es desvien.

Els que arriben paral·lelament a ell, surten (o surt la seva prolongació) passant pel focus de la lent.

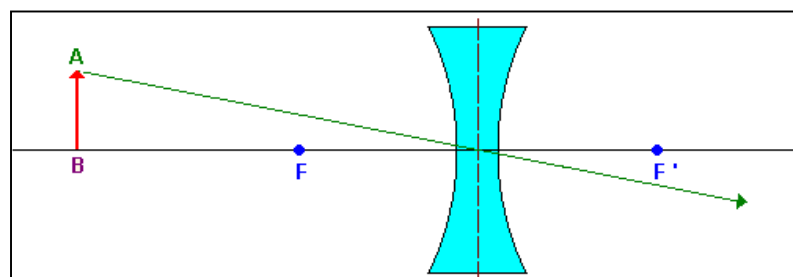
Els raigs que surten de la lent paral·lels a l'eix òptic arriben a ella de tal manera que aquestos, o la seva prolongació, passen per un punt anomenat focus objecte.

Els que travessen la lent pel centre no es desvien.

Lent convergent:



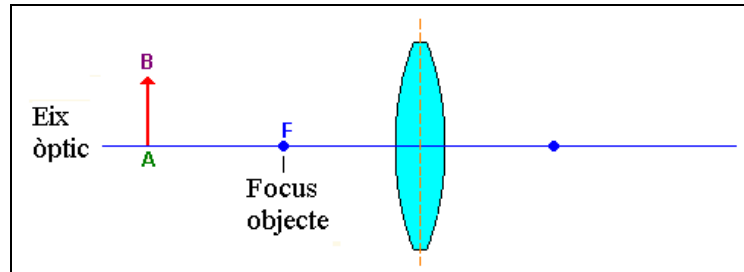
Lent divergent:



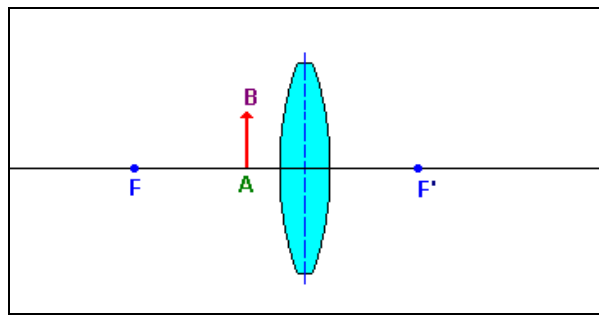
IMATGE D'UNA LENT CONVERGENT

Podem distingir tres casos diferents:

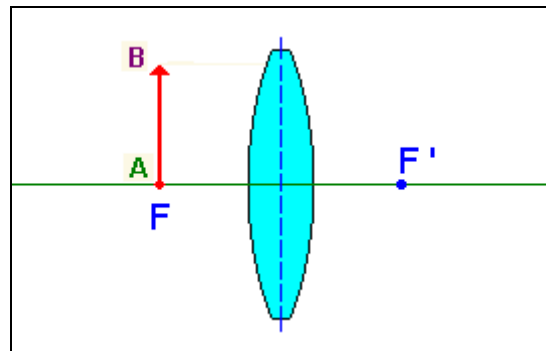
Cas 1: L'objecte està a l'esquerra del focus objecte:



Cas 2: L'objecte està entre el focus i la lent.

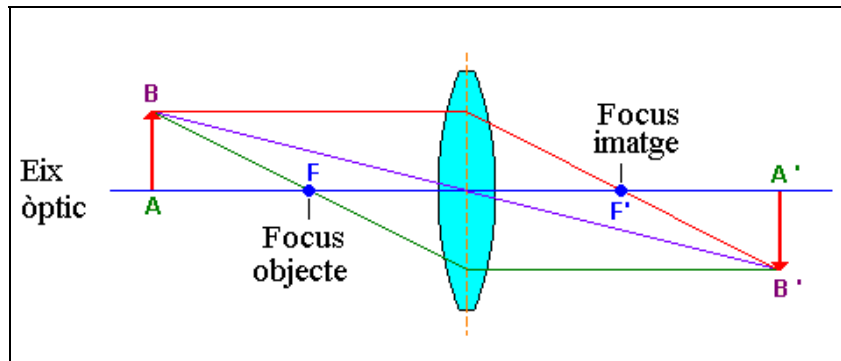


Cas 3: L'objecte està sobre el focus objecte.



CAS 1

Per a trobar la imatge que donarà una lent convergent d'un objecte, procedirem a traçar dos raigs que surtin de l'extrem de l'objecte B.



El primer penetra paral·lel a l'eix òptic i emergeix de la lent passant pel focus F', i el segon penetra a la lent passant pel focus i emergeix paral·lel a l'eix.

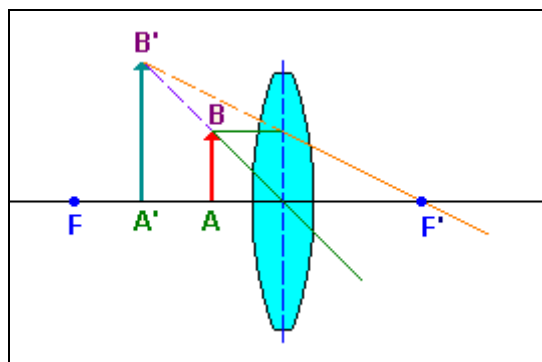
El punt d'intersecció d'aquests dos raigs indica l'extrem de la imatge B'; la imatge del punt A, que està sobre l'eix, apareixerà també sobre l'eix.

La imatge està invertida i com correspon a una unió real dels raigs de llum una vegada travessada la lent, direm que la imatge és real.

També podem observar com a mesura que apropem l'objecte al focus, mantenint-nos darrera d'ell, les imatges van creixent i allunyant-se de la lent.

CAS 2

En aquest cas l'objecte està entre el focus i la lent.



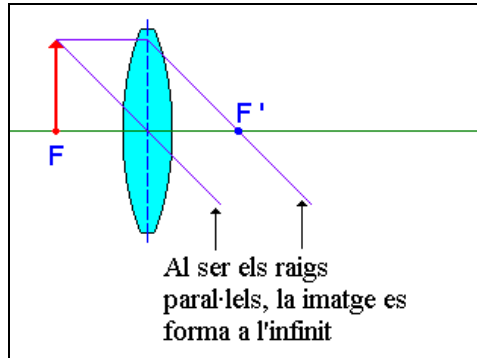
Utilitzant el mateix sistema de traçat de raigs per a trobar la imatge, veiem que els dos raigs que surten de B, després de travessar la lent són divergents.

Un observador que mirés l'objecte a través de la lent tindria la sensació de que els raigs de llum que rep procedeixen de l'objecte situat entre el focus i la lent.

Com que aquesta imatge no correspon a una unió real dels raigs, sinó a la unió de les seves prolongacions, direm que la imatge és virtual.

CAS 3

Si l'objecte esta en el focus, la imatge es forma a l'infinit, donat que tots els raigs, una vegada travessada la lent, surten paral·lels.



3.5. Característiques òptiques del telescopi

- Distància focal

Igual que una lupa, els raigs es poden concentrar en un punt a una distància “f” de la lent o mirall, aquesta és la distància focal o focus de l’objectiu. Generalment a major distància focal major poder d’augment.

Algunes distàncies focals típiques: Lupes: 40 mm, lents de cameres fotogràfiques: 50 mm, binoculars: 200 mm , telescopis: $f > 600$ mm

- Obertura de l’objectiu

És el diàmetre del mirall primari o lent principal (si es tracta d’un telescopi refractor), aquest diàmetre determina el poder de resolució o separació del telescopi, i ens determina també el poder de captació de llum, amb diàmetres grans podrem veure objectes més tènues, i podrem veure separats amb major facilitat objectes que a simple vista es veuen junts, com les fulles d’un arbre llunyà o els anells de Saturn.

- Resolució

És la capacitat que tenen els telescopis de separar dos objectes molt junts, com he dit abans, les fulles d’un arbre o els anells de saturn.

La unitat de la resolució són els segons d’arc, depenen de l’obertura de l’objectiu.

Es calcula amb la següent divisió:

$$R = \frac{175}{D} \begin{cases} D = \text{diàmetre}(mm) \\ R = \text{resolució}(\text{segons} - \text{arc}) \end{cases}$$

- Raó focal

La raó focal és la capacitat que té un telescopi per poder veure objectes que emetin molt poca llum. Si el nostre telescopi té molta lluminositat vol dir que amb ell podrem veure objectes que emeten molt poca llum. Si el telescopi té molt poca lluminositat només veurem objectes que emeten molta llum.

La raó focal s'obté dividint la distància focal (f) entre la obertura (D).

$$f = \frac{F}{D} \begin{cases} F = \text{focus}(mm) \\ D = \text{obertura}(mm) \end{cases}$$

La unitat de raó focal es representa així F/#. On # és f.

Per exemple:

Uns binoculars de 50mm i 200mm de distància focal tenen una raó focal F/4, és a dir 200/50. Un telescopi de 15 cm de diàmetre i 1500 mm de distància focal, té raó focal F/10, és a dir 1500/150.

Aquesta magnitud també es coneix com a velocitat de la lent. Ja que a les cameres fotogràfiques la raó focal determina la velocitat amb que la imatge es dibuixa a la pel·lícula fotogràfica.

- Augments

També és conegut com magnificació. És comú que en les botigues es promocionin telescopis de 60mm d'obertura i 400x o 600x. El qual de res serveix, ja que cada telescopi està limitat a un màxim d'augment sense degradar la imatge, numèricament igual a la seva obertura en mm.

Per calcular el nombre d'augment cal dividir la distància focal de l'objectiu (F) entre la distància focal de l'ocular (f).

$$A = \frac{F}{f}$$

On: A = augment; F = distància focal de l'objectiu; f = distància focal de l'ocular

Per exemple:

Si tenim un telescopi de $F=1000\text{mm}$ i un ocular de $f=25\text{mm}$, $M=1000/25$ és a dir $M=40x$, si amb el mateix telescopi utilitzem ara un ocular de 10 mm , $M=1000/10$, això és , $M=100x$. El primer ocular el podem utilitzar per veure galàxies, cúmuls d'estrelles i nebuloses, o simplement per centrar objectes. Una vegada centrat un objecte, podem canviar l'ocular de 10mm per a observar amb major nombre d'augment.

4. Disseny experimental

4.1. Construcció del telescopi

4.1.1. Utiltatge

Materials necessaris:

- ✓ Un mirall còncau d'uns 16cm de diàmetre i 67cm de distància focal.
- ✓ Un mirall pla quadrat de 3 o 4 centímetres de costat.
- ✓ Un tub de PVC de 160 mm de diàmetre.
- ✓ Un bocí de tub de PVC d'uns 3 centímetres de diàmetre.
- ✓ Un bocí de fusta amb forma cilíndrica.
- ✓ Dos pals de gelat.
- ✓ Un comptafils de 60mm de distància focal.
- ✓ Xapa metàl·lica
- ✓ Forexpan sintètic
- ✓ Tres cargols petits i dos claus grans
- ✓ Una tira de cinta de roba
- ✓ Esprai de pintura negra mat

Eines:

- ✓ Serra
- ✓ Tisores per tallar xapa
- ✓ Cinta mètrica
- ✓ Dos làsers
- ✓ Regle
- ✓ Tija suport, nou i pinces
- ✓ Tisores per tallar xapa
- ✓ Trepant elèctric
- ✓ Silicona
- ✓ Cinta adhesiva
- ✓ Un retolador

4.1.2. Procediment

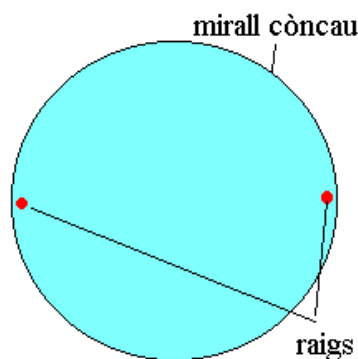
El procés de muntatge del telescopi l'he dividit en cinc parts per a poder distingir millor les fases del muntatge i llegir-lo més còmodament. Així no cal llegir-ho tot si només ens interessa una part en concret.

1.- Càlcul de la distància focal del mirall còncau o primari.

Per començar, cal trobar la distància focal del mirall còncau. D'aquesta manera sabrem la llargada que ha de tenir el telescopi i el seu ocular, ja que la imatge d'un punt a l'infinit vista amb el telescopi sempre es forma al focus.

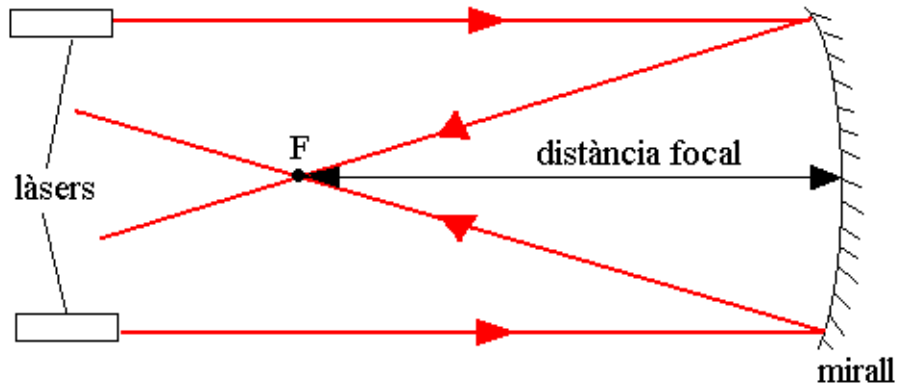
Per calcular la distància focal podem utilitzar dos mètodes, un d'experimental i un altre mitjançant càlculs. Jo ho he fet pels dos per assegurar-me que la distància és correcta.

Per calcular la distància focal amb el mètode experimental cal fer un muntatge amb dos làsers. Per començar posem el mirall perpendicularment damunt la taula. A una mica més d'un metre de distància del mirall posem els dos làsers. Els aguantem amb la tija suport i les pinces de manera que apuntin als extrems del mirall completament perpendiculars a ell (*fig.1*).



(*fig.1*)

Ara els dos raigs es reflecteixen al mirall i es creuen al focus. Com que no podem veure els raigs hem de tirar pols o fum. D'aquesta manera veurem clarament com es creuen els dos raigs (*fig.2*). Ara ja podem mesurar la distància del mirall al punt on els raigs es creuen, això és la distància focal. A mi m'ha donat uns 64 centímetres.



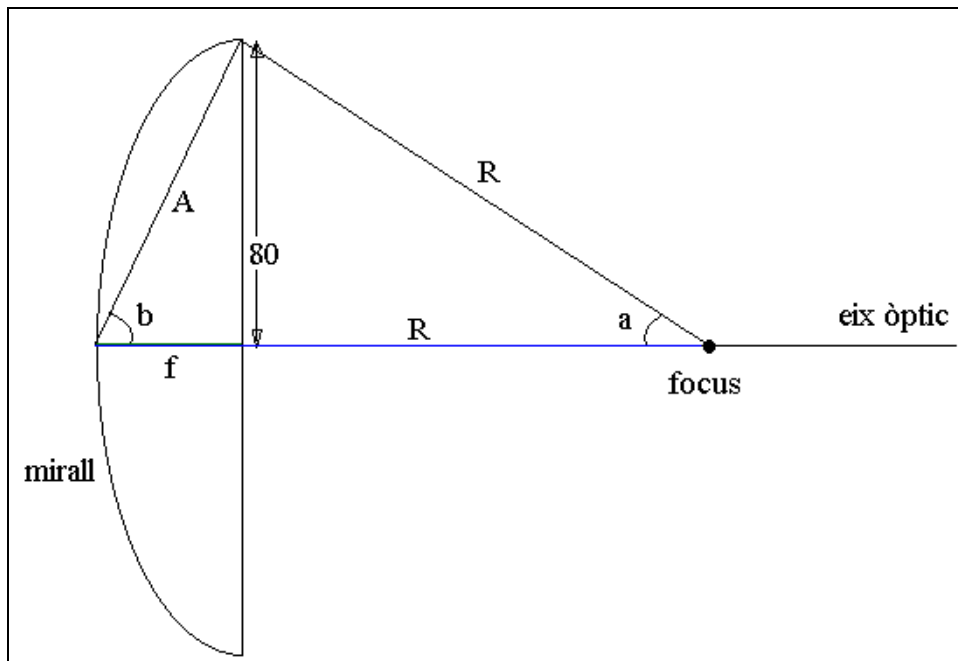
(fig.2)

El segon mètode per trobar la distància focal consisteix en aplicar la formula:

$$\text{distància.focal} = \frac{\text{radi.de.curvatura}}{2} \quad f = \frac{R}{2}$$

Ja sabem que la distància focal és la meitat del radi de curvatura del mirall. Per trobar el radi podem utilitzar la trigonometria.

Per a veure-ho més clar primer fem el següent esquema del mirall:

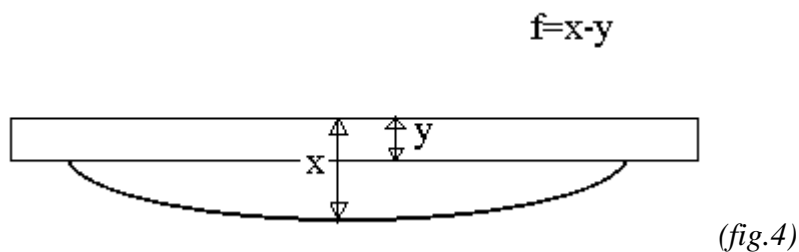


(fig.3)

A la (fig.3) s'acompleixen les següents igualtats:

$$\left. \begin{array}{l} \operatorname{tg} b = \frac{80}{f} \\ 180^\circ = a + 2b \\ 80 = R \cdot \sin a \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} b = \operatorname{arctg} \frac{80}{f} \\ a = 180^\circ - 2b \\ R = \frac{80}{\sin a} \end{array} \right.$$

Abans de fer els càlculs hem de trobar f. Per trobar-la posem un regle damunt el mirall tal com mostra la (fig.4). Mesurem la distància de damunt del regle al mirall i li restem l'amplada del regle. D'aquesta manera obtenim f.



$$f = 37,2 - 34,8 = 2,4 \text{ mm}$$

Ara que sabem el valor de f ja podem trobar el radi (R).

$$\left\{ \begin{array}{l} b = \operatorname{arctg} \frac{80}{f} = 88,28^\circ \\ a = 180^\circ - 2b = 3,43^\circ \\ R = \frac{80}{\sin a} = 1334,53 \text{ mm} \end{array} \right.$$

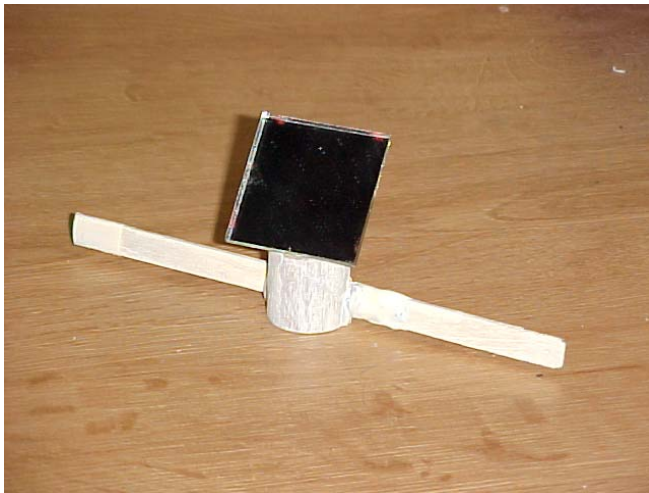
$$\text{distància focal} = \frac{\text{radi}}{2} = \frac{1334}{2} = 667 \text{ mm}$$

Un cop obtenim el resultat amb els dos mètodes podem comprovar que la distància focal està entre 64 i 66,7 centímetres. Jo m'he refiat més del resultat que he calculat, ja que és més exacte que el que he trobat experimentalment. Tot i així la proximitat dels dos valors confirma que la distància focal és bastant correcta.

2.- Muntatge de l'aranya

L'aranya és el nom que té el conjunt format pel mirall pla (secundari) i el seu suport. Per començar necessitem un bocí cilíndric de fusta d'uns 5 centímetres de llarg i 2

centímetres de diàmetre. Les mides no cal que siguin estrictament aquestes. Per aconseguir aquesta fusta es pot anar a un fuster i que ens doni algun bocí que li sobri. Aquest cilindre de fusta l'hem de tallar amb un angle de 45°. Podem fer-lo tallar al fuster perquè la mesura sigui més exacta. Ara fem un tall tant ample com els pals de gelat a l'extrem del cilindre que no hem tallat. Posem silicona dins el tall i hi posem els pals de gelat perpendiculars al cilindre de manera que un surti per un costat i l'altre per l'altre. Al costat del cilindre que està inclinat posem una mica de silicona i a damunt hi posem el mirallet. Al posar el mirallet no hem d'ajuntar-lo molt a la fusta, deixem que caigui pel seu propi pes. Hem de vigilar que el mirallet estigui ben centrat i que quedi amb un angle just de 45°.



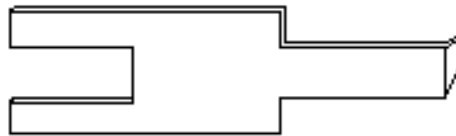
Dos vistes diferents de com ha de quedar l'aranya.



3.- Muntatge del mirall primari amb el seu suport

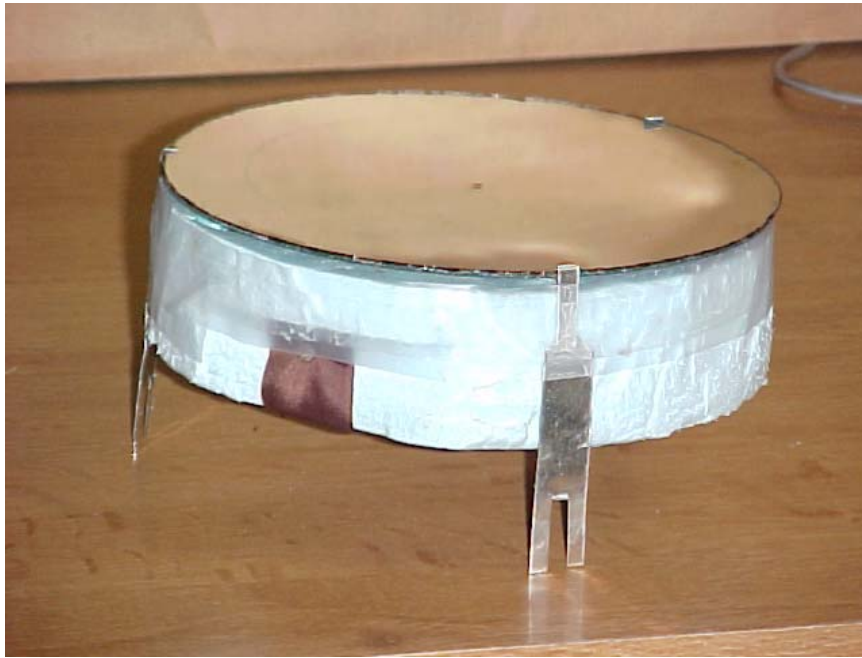
Agafem el forexpan i hi posem el tub de PVC verticalment a damunt amb la part ampla a baix. Amb un bolígraf marquem la circumferència del tub al forexpan. Tallem el forexpan amb la serra per la marca que hem fet. Un cop tallat, amb un cuter tallem una mica la vora fins que pugui entrar fregant a dins del tub. Agafem la cinta de roba i clavem els seus dos extrems amb un clau ben gruixut a dos punts oposats del costat del forexpan. Aquesta cinta servirà per treure el mirall de dins el tub més fàcilment. Ara posem tres coixinets de silicona damunt el forexpan i hi posem el mirall a damunt. Deixem que el mirall s'enganxi pel seu propi pes, però que quedi ben pla.

Quan hagin passat unes hores i el mirall estigui enganxat, comencem a tallar tres peces de xapa metàl·lica com la de la (fig.5).



(fig.5)

Aquestes peces són per a regular la posició del mirall primari. La part que a la (fig.5) podem veure a la dreta, va agafada al mirall. Aquestes peces han de ser el doble d'altres que l'amplada del forexpan. Quan tenim les tres peces tallades les posem al seu lloc, les tres han d'estar a igual distància (a uns 120° de diferència). Un cop posades les peces, les ajuntem amb el forexpan rodejant-ho tot amb cinta adhesiva. A la (fig.6) i la (fig.7) podem veure com queda agafat el mirall primari.



(fig.6)



(fig.7)

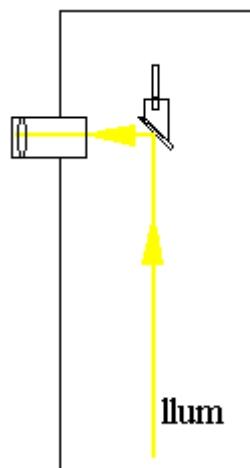
4.- Preparació del tub i muntatge de l'ocular

Posem el mirall primari dins el tub per la part més ampla. Amb la cinta mètrica mesurem uns 52 o 53 centímetres des de el mirall i ho marquem al tub. Aquesta és la distància a que ha d'estar el mirall secundari. On hem fet la marca fem un forat tan ample com els palets de l'aranya. Fem un altre forat igual a la mateixa alçada a l'altre costat del tub. Ara fem 4 o 5 forats més de la mateixa mida damunt d'aquestos que hem

fet. Han d'estar en línia recta i molt, molt junts. D'aquesta manera amb el trepant mateix podem tallar l'espai que hi ha entre els forats i aconseguirem un tall recte per on podrem posar l'aranya. El tall ha de tenir una longitud d'uns 3 o 4 centímetres per poder posar l'aranya sense problemes i poder regular-la una mica.

Ara és el moment de fer l'ocular. Només cal treure la lent del comptafils i posar-la dins un tub petit de PVC. Per treure la lent del comptafils podem tallar el plàstic que la conté o escalfar-lo per a que es torni tou i puguem treure la lent. El tub de PVC que necessitem per l'ocular ha de tenir el mateix diàmetre de la lent o semblant. Si el tub és una mica més ample podem posar una mica de cartró o algun material semblant entre la lent i el tub. Si el tub és massa petit es pot escalfar una mica i fer entrar la lent quan el plàstic estigui tou. El tub de l'ocular no ha de ser molt llarg, més endavant mesurarem la longitud que ha de tenir.

Quan tenim el tub de l'ocular fet, hem de fer un forat de diàmetre igual al d'aquest tub al tub de gran de PVC. El forat ha d'estar encarat al mirall secundari, com podem veure a la (fig.8).



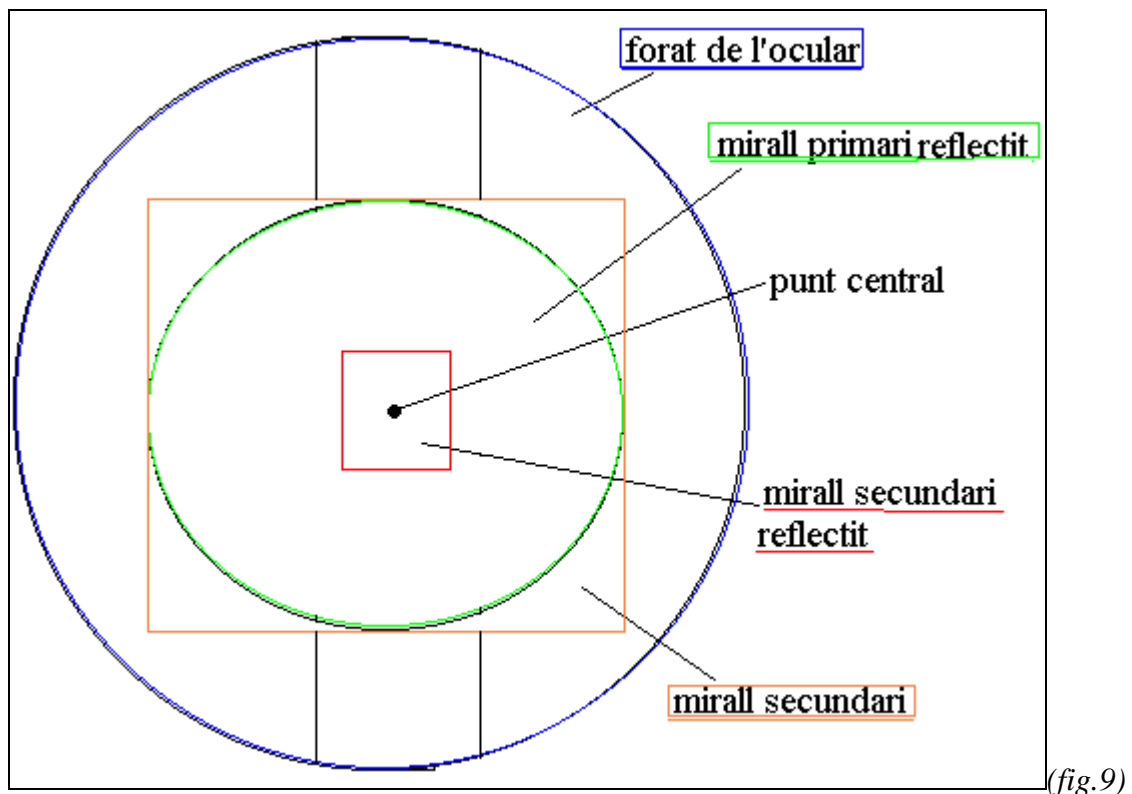
(fig.8), Secció del tub

Per fer un forat del mateix diàmetre que l'ocular, he fet servir el trepant elèctric amb una eina que serveix per fer forats grans. Si no disposéssim d'aquesta eina es podria fer el forat amb la serra i després llimant-lo.

Ara ja podem pintar el tub. Per dins és necessari que sigui negre mat per evitar els reflexes de la llum. Per fora també l'he pintat d'aquest color però se'n pot utilitzar un altre. La pintura d'esprai és la més adequada ja que no deixa tanta capa de pintura i és molt més ràpid de pintar.

5.- Muntatge dels components del telescopi i ajustament

Ara és hora de muntar-ho tot. Primer posem el mirall primari al seu lloc i després l'aranya. Si mirem pel forat on hem de posar l'ocular podem veure el mirall primari, i al mig el secundari reflectit. Amb un retolador fem un punt just al mig del mirall primari. Ara hem d'aconseguir que el punt del mirall primari es vegi just al mig del mirall secundari que veiem reflectit. S'ha de veure més o menys com a la (fig.9).



Per centrar el punt hem de moure el mirall mitjançant aquelles peces de xapa que hem tallat. Quan tinguem el punt al mig, els eixos òptics estaran en línia. Aleshores fem tres forats al tub al tub gran a prop de l'extrem. Els forats han de coincidir amb la posició de les tres peces que hem utilitzat per centrar el mirall. Aleshores posem un cargol a cada forat de manera que les peces quedin fixades i no es puguin moure. Ara cada cop que vulguem centrar el mirall haurem de descargolar una mica les peces i després tornar a cargolar-les per a que el mirall mantingui la posició. A la (fig.10) es pot veure com queda el fons del tub després de posar el mirall primari.



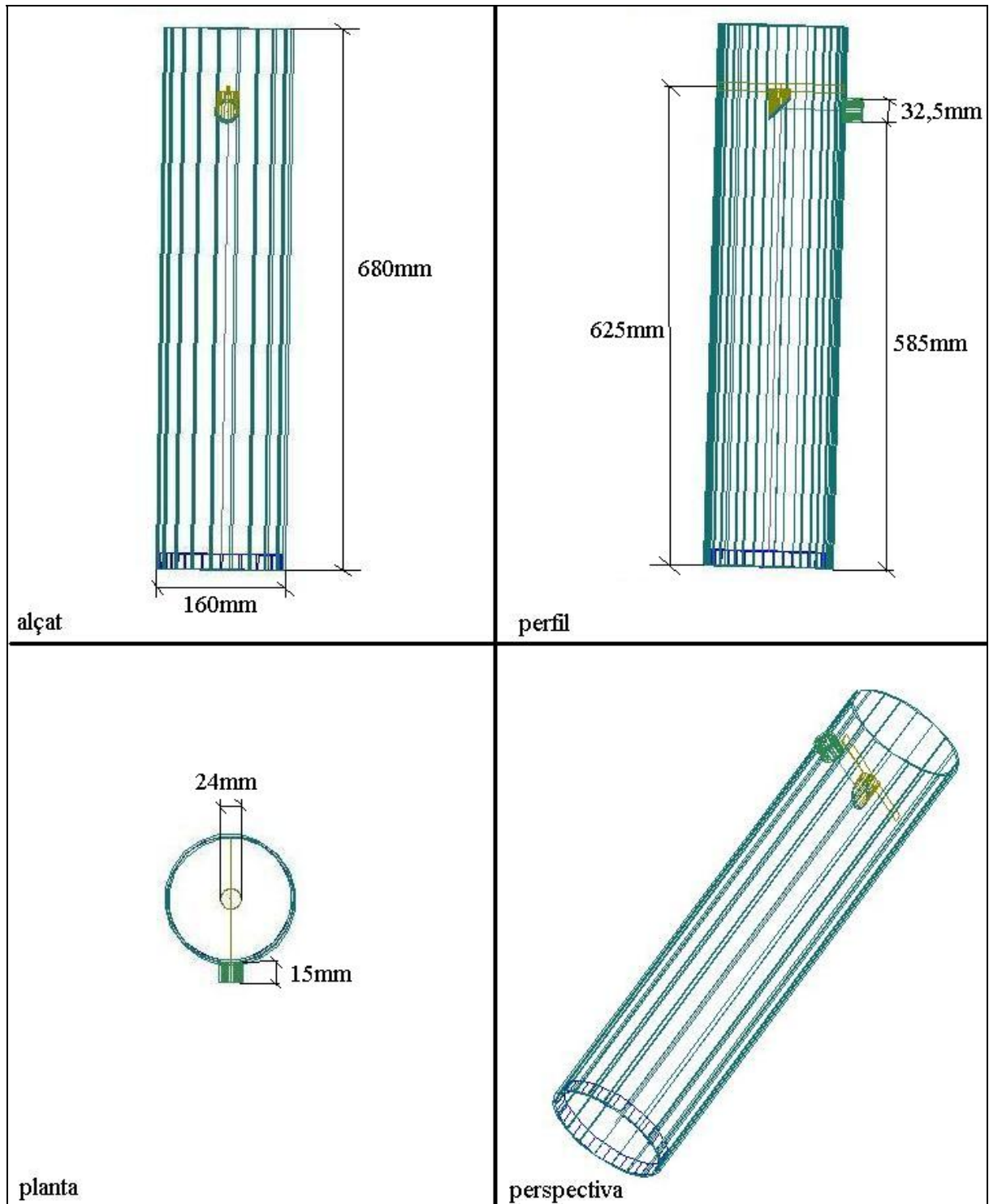
(fig.10)

Ara mesurem la distància que hi ha entre el mirall primari i el secundari. A aquesta distància li sumem el radi del tub. Els centímetres que ens faltin per arribar a 67cm serà la mida que ha de tenir el tub de l'ocular. D'aquesta manera ja el podem tallar amb aquesta llargada i posar-lo al forat que hem fet abans. Sobretot, hem de procurar que l'ocular apunti directament al mig del mirall secundari. El tub de l'ocular ha d'anar ben agafat però també s'ha de poder moure una mica per enfocar. Encara que quan s'ha trobat la distància correcta no caldria moure'l més. Quan mirem a través de l'ocular hem de posar l'ull a uns tres dits de distància de la lent, ja que aquesta distància és la més correcta per veure la imatge millor.



El telescopi ja està acabat! Ara ja podem fer les observacions astronòmiques.

4.1.3. Esquema



4.2. Observacions astronòmiques

○ Observació de la lluna

Una de les coses que es pot fer amb el telescopi que he construït és la observació de la lluna. La lluna és l'astre més gran i brillant que podem veure per la nit. Per la seva observació no es necessita un telescopi amb molts augments. Només cal que apuntem a ella amb el telescopi i podrem veure-la d'una manera ben diferent a la que la veiem a ull nu.

A continuació teniu una mica d'informació sobre la lluna:

Què és la lluna?

La lluna és el satèl·lit natural de la Terra, el qual gira recorrent una òrbita inclinada: el moviment orbital provoca la successió de les fases de la lluna. La Lluna no té atmosfera apreciable ni aigua. És l'únic cos celest que l'home ha pogut xafar, el 20 de juliol de 1969, N. Armstrong i E. Aldrin van arribar-hi amb l'Apolo 11. La seva superfície està coberta de cràters, provocats principalment per l'impacte de meteorits.

La superfície de la lluna:

Observant la lluna amb un telescopi o simplement a ull nu es distingeixen dos tipus de superfícies: els mars, zones extenses, fosques, llises i aproximadament circulars, que són cràters gegants provocats per l'impacte de meteorits els quals s'han omplert de la lava sortida de les capes més profundes després de l'impacte; i les terres, més clares, accidentades i amb nombrosos cràters. Sobre la cara de la Lluna que no mira mai cap a la Terra (la cara oculta) no hi ha mars importants. A les terres hi han cadenes muntanyoses (que arriben fins als 8.000 m d'altura) i falles.

Els satèl·lits posats en òrbita al voltant de la Lluna han detectat en els mars més grans un augment de força gravitatòria que demostra un excés de massa, probablement degut a algun gran meteorit metàl·lic que va formar el mar. La possibilitat de la instal·lació de futures colònies habitables a la lluna, ha potenciat la creació de noves missions d'exploració, com la del satèl·lit militar *Clementine*, que va detectar els primers indicis d'aigua subterrània, i les missions *Lunar Prospector* (1997), que van confirmar les primeres dades, i *Luna A* (NASDA), destinada a estudiar la geologia del terreny de la lluna.

Característiques de la Lluna:

Distància mitjana al sol: 384.500 km

Distància de la terra, de superfície a superfície: Mitja: 376,284 km; mínima: 348,294 km; màxima: 398,581 km

Període de gir: 27,321 dies

Període de gir sobre el propi eix: 27,321 dies

Velocitat mitja orbital: 3680 km/h

Inclinació axial de l'equador: 1° 32'

Inclinació orbital: 5° 09'

Diàmetre: 3475,6 km

Densitat (aigua=1): 3,342

Massa (terra=1): 0,0123

Volum (terra=1): 0,0203

Velocitat d'escapament: 2,38 km/s

Gravetat a la superfície (terra=1): 0,1653

Temperatura superficial: De -155°C a 105°C

Imatge de la Lluna:



Fotografia extreta de la enciclopèdia "la aventura de la ciència".

○ **Observació de les taques solars**

Una altra observació que podríem fer és la observació del sol. Però això no és possible, ja que el sol emet molta llum i necessitaríem uns filtres per observar-lo. Si miréssim al sol amb el telescopi sense cap filtre ens cremaríem la retina a l'instant i això ens faria tornar cecs. El que si que podem fer amb el telescopi és observar les taques solars. Només cal que apuntem al sol amb el telescopi, sobretot sense mirar per l'ocular, i posar un paper blanc a uns 20 centímetres de l'ocular. D'aquesta manera veurem la llum del sol projectada al paper i algunes taques més fosques, que són les taques solars.

Què és el sol?

El sol és l'estel en torn al que orbiten els planetes del sistema solar. És un estel de tipus espectral, de color groc, amb un radi de 696.500 km (109 vegades el radi terrestre). Emet entre 3,86 a 1026 joules per segon d'energia. El Sol gira sobre ell mateix amb velocitats diverses segons la latitud, per donar una volta completa tarda uns 25 dies a l'equador i uns 36 dies als pols. Donat que dista uns 150 milions de km, el Sol és vist des de la Terra com un disc d'aproximadament mig grau de diàmetre, equivalent al de la lluna plena, mentre que els altres estels els veiem sempre com un punt; és l'únic estel, per tant, en el que és possible observar amb facilitat els seus detalls. El Sol segueix un cicle d'activitat d'uns 11 anys en el que alterna un període de màxima activitat amb un de mínima. A la actualitat, la observació convencional del Sol des de la Terra es completa mitjançant el satèl·lit *Ulysses* (NASA, ESA), que descriu òrbites al voltant de l'estel pels seus pols, i el *SOHO* (NASA, ESA), que l'observa de manera permanent des de 1,5 milions de quilòmetres de la Terra.

La superfície del Sol:

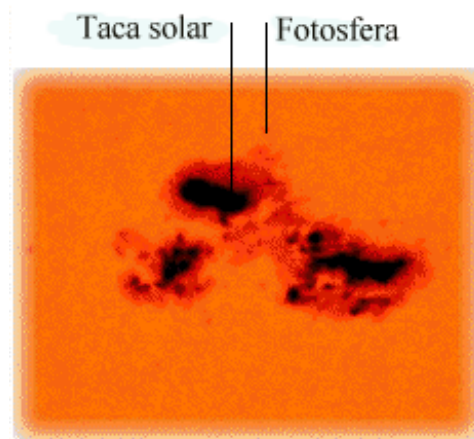
La part lluminosa del Sol, la seva "superfície", és una zona de pocs centenars de quilòmetres d'espessor anomenada fotosfera; la seva temperatura és d'uns 5.700 °C. Els gasos, opacs a les radiacions, fan impossible veure la part més interna del Sol. Al centre, es produeixen les reaccions de fusió nuclear de l'hidrogen amb heli que generen la energia del sol; allí dins la temperatura es d'uns 15 milions de °C. A la fotosfera, el gas que prové de l'interior del sol es mou convexament generant una sèrie de cel·les clares (el cap superior de la columna ascendent de gas calent) i zones circumdants fosques (allí

on el gas, una vegada refredat, torna a emergir); aquesta estructura s'anomena granulació.

L'activitat solar:

Les taques solars són zones fosques (a uns 4.500 °C) fàcilment visibles sobre la fotosfera (molt sovint reunides en grups), són les formes més evidents de l'activitat solar. El seu número i la seva disposició estan lligades al cicle de l'activitat solar. Són regions relativament fredes. L'efecte de refredament és conseqüència d'una concentració del camp magnètic solar a la zona de la taca. Si estiguessin soles, aquestes taques brillarien amb gran intensitat, però es veuen fosques perquè la matèria que les rodeja és més brillant i es troba a una temperatura superior.

Els fenòmens solars més espectaculars són les protuberàncies, grans emissions de matèria que s'allunya del Sol fins a desenes de milers de quilòmetres d'alçada, i les fulguracions, violents augments de lluminositat en una petita regió de la cromosfera i de la corona, acompanyades per emissions de raigs X i partícules accelerades. S'estima que les manifestacions d'activitat solar estan governades per la disposició, la intensitat i el comportament dels camps magnètics presents a les proximitats de la superfície solar.



Ampliació d'una regió de la fotosfera amb taques solars.

Característiques del sol:

Radi: 696.500 km (109 vegades el terrestre)

Massa: $2 \cdot 10^{33}$ g (333400 vegades la terrestre)

Densitat mitjana: 1,41 g/cm³ (la quarta part de la terrestre)

Temperatura superficial: 5700 °C

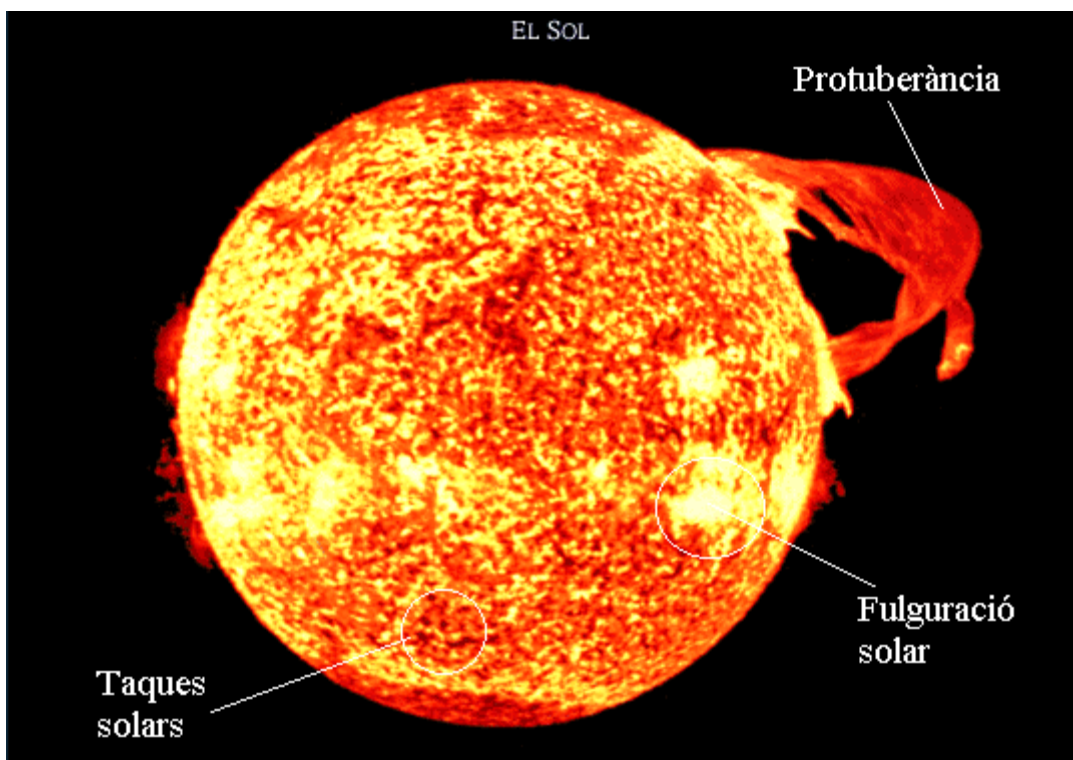
Temperatura a prop del nucli: Aprox. 14 milions de graus

Acceleració de la gravetat a la superfície: 274 m/s^2 (aprox. 28 vegades més gran que la terrestre)

Distància a la terra: De 147,1 a 152,1 milions de km

Distància mitjana a la terra: 149,6 milions de km

Imatge del sol:



Aquesta fotografia està feta per un satèl·lit. Amb un telescopi normal no es pot veure el sol d'aquesta manera.

5. Resultats obtinguts

Ara que el telescopi ja està fet, ja estem a punt per donar resposta als problemes plantejats.

Problema 1:

És possible que pugui construir un telescopi reflector amb materials no gaire cars i que funcioni mínimament bé? Com hauria de ser aquest telescopi i com podem construir-lo?

Primer hem de veure el pressupost de la construcció del telescopi:

Material	Observació	
Tub de PVC de 160mm de diàmetre.	Es pot comprar a qualsevol botiga on venguin canonades.	12,67 €
Tub de PVC de 32mm de diàmetre.	Es pot comprar a qualsevol botiga on venguin canonades.	0,89 €
Mirall còncav de 160mm de diàmetre.	En podem trobar de molt barats en botigues de tot a cent.	2 €
Comptafils	Podem comprar-ne un a qualsevol òptica.	4,50 €
Mirall pla	A una botiga on venguin vidres ens en donaran un bocí.	0 €
Pintura en esprai, negre mat	Es pot trobar a molts llocs.	2,23 €
Cilindre de fusta	Ens el pot donar un fuster.	0 €
Total:		22,29 €

Tots els altres materials necessaris els tenia a casa i són bastant usuals. El que és més probable que no tingueu a casa és la xapa metàl·lica, però és pot comprar a una ferreteria.

La construcció del telescopi no ha suposat una gran despesa econòmica, sobretot si ho comparem amb els preus que tenen els telescopis de compra. El telescopi no té molt bona qualitat d'imatge però podem fer observacions amb ell tranquil·lament.

Problema 2:

Un cop construït el telescopi, quines són les seves característiques?

Les característiques del telescopi les podem saber aplicant les formules que he trobat:

▪ ***Distància focal:***

La distància focal del mirall còncau la he calculat per a poder construir el telescopi. És de 667mm. La distància focal de la lent es pot trobar amb una bombeta apuntant a la lent. Només cal moure la lent damunt la taula fins que es pugui veure la llum de la bombeta el màxim de concentrada possible. La distància de la lent a la taula és la seva distància focal, a la meua lent era de 60mm.

▪ ***Obertura de l'objectiu:***

La obertura de l'objectiu és el diàmetre del tub principal del telescopi per dins. És de 156mm.

▪ ***Resolució:***

Es calcula amb la següent formula:

$$R = \frac{175}{D} = \frac{175}{156} = 1,12 \text{ segons d'arc}$$

Dividint 175 entre el diàmetre del tub en mil·límetres ens dona una resolució de 1,12 segons d'arc. Aquesta és la distància a la que podrem distingir dos objectes molt junts.

▪ ***Raó focal:***

Per trobar-la hem d'aplicar la formula:

$$f = \frac{F}{D} = \frac{667}{156} = 4,27$$

Això es representa de la següent manera: F/4,27

La raó focal és bastant baixa ja que els materials del telescopi no eren de molta qualitat. Amb el telescopi no podrem veure objectes que emetin molt poca llum.

▪ ***Augments:***

Per saber el nombre d'augment del telescopi construït hem d'aplicar la següent formula:

$$A = \frac{F}{f} = \frac{667}{60} = 11,11$$

El telescopi construït és de 11,11(x) augment.

No té molts augment perquè la distància focal de l'ocular és gran i el mirall còncau té bastanta curvatura comparat amb els dels telescopis bons. Tot i així el telescopi té un camp de visió bastant gran.

Problema 3:

Podem observar la lluna i les taques del sol amb el telescopi que he fabricat?

Amb el telescopi que he fabricat he pogut observar la lluna i les taques solars.

Quan he observat la lluna no hi ha hagut cap dificultat perquè el camp de visió és molt gran i la he trobat sense gaire esforç. Com que tenia la lent al lloc adequat no ha calgut que la mogués per a enfocar la imatge. El més difícil ha sigut la manera de veure-la de la manera més nítida possible. No hem de posar l'ull directament a l'ocular, cal separar una mica el cap fins que trobem el punt on ho veiem millor. La lluna es veu bastant més gran i s'hi poden distingir perfectament els seus mars i els cràters més grans. L'únic inconvenient és que la imatge es veu una mica deformada degut a que el mirall no és el més adequat per a fer un telescopi.

A l'hora d'observar les taques del sol no he tingut tanta sort. Després d'apuntar al sol amb el telescopi, he posat un paper blanc per a que es projectés la llum. Com que el mirall còncau no és bo, la projecció es veia deformada i les taques solars no les he pogut distingir. Això també pot ser degut a la boira que hi ha, que disminueix una mica la llum del sol.

6. Conclusions

Després de contrastar els resultats obtinguts amb els problemes que m'havia plantejat estic en condicions de dir que:

1.- Existeix la possibilitat de construir un telescopi reflector sense gastar-se molts diners, amb materials casolans o de fàcil obtenció. M'he gastat exactament: 22,29 €

2.- He pogut calcular les característiques principals del telescopi, que són les següents:

- Distància focal de l'objectiu: 667mm
- Distància focal de l'ocular: 60mm
- Obertura de l'objectiu: 156mm
- Resolució: 1,12 segons d'arc
- Raó focal: F/4,27
- Nombre d'augment: 11,11(x)

3.- Amb el telescopi que he fabricat es pot observar la lluna. La observació de les taques solars ja és més complicada.

És evident que la qualitat d'imatge del telescopi no és molt bona, però si pensem que he fet un telescopi amb molt pocs diners i amb materials casolans arribem a la conclusió que pel que podem veure ja està molt bé. Per poder observar la lluna i les taques solars necessitaríem un bon telescopi el preu del qual no baixaria dels 500 €. Els telescopis

bons utilitzen miralls còncavos molt gruixuts i amb curvatura parabòlica. Aquests miralls són els més adequats, però són molt cars i de difícil obtenció.

La construcció del telescopi va ser molt costosa i va portar bastants problemes. Tot i així no em vaig donar per vençut i amb l'ajuda del meu avi vaig buscar solucions per a fer que el telescopi funcionés. L'esforç ha valgut la pena perquè se que el telescopi no pot ser millor utilitzant els materials que he utilitzat.

Amb aquest telescopi, a més a més d'observar la lluna i les taques solars, també podem observar les constel·lacions del cel qualsevol nit d'estiu.

La construcció d'aquest telescopi m'ha servit per aprendre moltes coses sobre els telescopis, especialment els reflectors, i la seva construcció. A més a més, també he après una mica més d'astronomia i òptica.

7. Bibliografia

Libres consultats:

- ❑ Astronomia. Enciclopedia de temas básicos. Instituto Parramon ediciones. Terry Maloney. 1978
- ❑ Optica instrumental. Joan Antó Roca, Núria Tomàs Corominas. Edicions UPC. 1994
- ❑ Historia de la ciencia y de la técnica. 25, Astronomia y navegación en el siglo XVII. Manuel A. Sellés. Ediciones Akal 1992
- ❑ Luz, laser y optica. John H. Maulin. Mc Graw Hill 1991
- ❑ Atlas de astronomia. Herman Joachim. Alianza, 1984
- ❑ Astronomia amateur. Jack Newton. Ediciones omega. 1991
- ❑ Guia del firmamento. Jose Luis Comellas. Ediciones Rialp. 1979
- ❑ Instrumentos astronomicos hechos en casa. Tomas Sclarici. Editorial Caymi. Argentina. 1975

CDs consultats:

- ❑ Enciclopèdia interactiva de consulta. Ciències experimentals. Física 2.
- ❑ Enciclopedia multimedia “La aventura de la ciencia”

Pàgines web visitades:

- ❑ www.astrored.org (*Portal d'astronomia*)
- ❑ es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/Things/telescope (*història dels telescopis*)
- ❑ members.tripod.com/~FILNET/telescopio (*informació sobre telescopis*)
- ❑ milenio.heraldo.es/hemeroteca/217/htm/ciencia (*informació sobre telescopis*)

- ❑ webs.sinectis.com.ar/mcagliani/htelescopio (*història dels telescopis*)
- ❑ www.geocities.com/CapeCanaveral/Campus/4847/construya/construy
(*construcció d'un telescopi reflector*)
- ❑ members.aol.com/sfsidewalk/cdobplans (*construcció d'un telescopi reflector*)
- ❑ www.arrakis.es/~telescop/ (informació per a construir telescopis)
- ❑ www.cielosur.com (*portal d'astronomia*)
- ❑ www.lafacu.com/apuntes/astronomia/const_tele/ (*construcció d'un telescopi reflector*)

8. Annexos

I. Acoblament del telescopi a un trípode

La majoria de telescopis que trobem al mercat porten un trípode incorporat. La funció principal del trípode és mantenir el telescopi en un lloc fix per a que no l'haguem d'aguantar amb les mans. Alguns trípodes també porten unes mesures que ens permeten apuntar amb el telescopi al lloc on volem mitjançant les coordenades celestes. Això pot ser molt útil si volem trobar un determinat estel o planeta al cel.

En el meu cas, disposava d'un trípode per a càmeres de vídeo o càmeres fotogràfiques. Vaig pensar que podria trobar algun sistema per acoblar el telescopi que vaig construir al trípode.

El sistema que vaig utilitzar per acoblar el telescopi al trípode és molt senzill, només necessitem dos cantonades petites de metall i uns quants cargols.

Per començar vaig unir les dos cantonades amb dos cargols tal com es veu a la (fig.1).



(fig.1)

Aquesta peça uneix el trípode amb el telescopi. A la part inferior hi vaig cargolar l'adaptador que té el trípode, que realment serveix per posar una càmera de fotos. Després vaig posar el telescopi horitzontalment damunt el trípode amb la peça posada. Vaig buscar el punt en que el pes del telescopi quedava equilibrat entre els dos costats. En aquesta posició vaig marcar dos forats d'aquesta peça al tub del telescopi. Després vaig fer els forats amb el trepant elèctric i vaig posar un cargol a cada forat unint el

telescopi amb la peça. D'aquesta manera el telescopi queda fix i estable damunt el trípode i no cal aguantar-lo. A la (fig.2) veiem el telescopi damunt del trípode.



(fig.2)

A la següent fotografia podem veure el telescopi i tot el trípode:



II. Planisferi del cel

En una nit d'estiu fosca i amb el cel net de núvols, podem veure a simple vista més de 3000 estels. Quan anem a observar els estels primer hem de deixar que els nostres ulls s'acostumin a la foscor. Com més temps estiguem, més estels podrem veure perquè els ulls se'ns hauran habituat millor a la foscor.

Des de l'antiguitat, per a identificar millor els estels i facilitar la seva localització al cel, es van agrupar en diferents formacions anomenades constel·lacions. A cada constel·lació se li va donar un nom, normalment relacionat amb la mitologia.

Les constel·lacions de més fàcil localització venen indicades al planisferi del cel de la pàgina següent.

Per començar a orientar-nos amb el planisferi cal saber que la estrella polar sempre està apuntant al nord. Al planisferi la tenim just al mig. Aquest estel forma part de la constel·lació de la ossa menor, formada per 6 estels més. Quan haguem localitzat aquesta constel·lació ja podrem orientar-nos millor amb el planisferi.

El planisferi següent és molt fàcil d'utilitzar:

Un planisferi o mapa estel·lar és la representació en un pla de la semivolta celest visible des d'una determinada latitud terrestre.

Dins del planisferi següent hi ha representades 41 constel·lacions i 345 estels, fins a la magnitud 5^a.

En el cantell del cercle gran hi ha els noms dels 12 mesos de l'any dividits en fraccions d'un dia. El disc petit està dividit en hores (24.h).

El mètode de lectura consisteix a fer girar el disc superior (hores), fins que el mes i el dia que ens interessa llegir coincideixi amb l'hora de l'observació a efectuar. Col·loquem el planisferi sobre el nostre cap de manera que mirant amunt puguem veure'l juntament amb la volta celest i amb els punts cardinals del planisferi ben orientats amb els del lloc d'observació. Així podrem obtenir un panorama fidel del firmament en el mateix moment de la seva lectura i podrem familiaritzar-nos amb les constel·lacions i els noms dels estels. Amb l'ajuda del telescopi podrem augmentar una zona determinada del cel per a fer una millor observació.

