

HISTÒRIA DEL TELESCOPI

Resum del llibre del mateix títol d'Isaac Asimov (aquest llibre queda forçosament desfasat, ja que va ser escrit el 1975 i editat en castellà el 1986, però jo el vaig trobar molt interessant i instructiu).

INTRODUCCIÓ

Arquímedes (grec, 287-212 AC), va cremar la flota romana que assetjava Siracusa, concentrant el Sol amb miralls corbats.

Alhazen (àrab, 965-1038), va estudiar el fenomen i els efectes de la refracció atmosfèrica.

Robert de Grosseteste (anglès, 1177-1253), va estudiar les lents de manera sistemàtica.

Roger Bacon (anglès i deixeble de l'anterior, 1220-1292), va estudiar les lents i va aplicar l'augment per llegir. Se'l pot considerar com a l'inventor de les ulleres.

Leonard Diggs (matemàtic anglès, 1510-1571) i John Dee (id. 1527-1601), experimentaven combinacions de lents per millorar l'augment.

Tycho Brahe (danès, 1546-1601), va ser el més gran astrònom abans dels telescopis. No va descobrir res rellevant, però va fer una gran tasca d'observació que va permetre a Kepler deduir més tard les seves famoses lleis de moviment dels astres. Amb un pal de 2,13 m de llargada aconseguia precisions d'1'.

Hans Lippershey (Holandès, de Middleburg, Zeeland, 1570-1619), fabricant d'ulleres, va descobrir el telescopi i el va aplicar a usos militars.

Zacharias Janssen (id. 1580-1638), el 1604 reclamava prioritat en l'invent o descobriment del telescopi.

Ioannis Dimissiani (matemàtic grec), el 1612 va proposar l'adopció del mot telescopi.

Galileo Galilei (italià, 1564-1642):

Maig 1609: Tenia un telescopi Ø 42 mm, amb un objectiu planoconvex i un ocular planocòncav, fet a Venècia. A Pàdua en tenia un de Ø 44 mm, 1,2 m llarg i 33 augments. Per primera vegada va fer observació astronòmica amb telescopi. Les seves principals observacions i descobriments van ser:

La Lluna: Muntanyes i cràters = superfície rugosa.

Les estrelles: Punts però més brillants.

Major nombre d'estrelles: Les Plèiades, de 6 o 7 a 40.

La Via Làctea.

Planetes = no punts sinó discos.

7 gener 1610: 3 satèl·lits de Júpiter.

13 gener: el 4t satèl·lit.

Març: Llibre "Siderus nuntius".

Juliol 1610: Va veure com unes nanses al voltant de Saturn. El 1612 havien desaparegut.

10 agost 1610: Observació fases de Venus.

Finals de 1610: Observació del Sol.

Mitjan 1611: Taques solars.

Simon Marius (alemany, 1570-1624), va confirmar l'existència dels satèl·lits i els va donar nom: Io, Europa, Callisto i Ganimedes.

Johann Kepler (alemany, 1571-1630):

Va deduir les òrbites el·líptiques dels planetes a partir de les observacions de posició de TYCHO BRAHE.

Va descriure el pas de la llum per una lent convexa i va observar l'aberració esfèrica.

Va inventar el telescopi de 2 lents convexes, de major camp i que permet posar un reticle en el pla focal de l'objectiu. Dóna la imatge invertida.

Christoph Scheiner (alemany, 1579-1650), també va veure les taques solars, però va creure que eren objectes opacs que donaven voltes al Sol.

Simon Marius, el 15 de desembre 1612 va descobrir la nebulosa d'Andròmeda.

Johann Baptist Cysat (suís), va descobrir la nebulosa d'Orió.

Franciscus Fontana (italià, abans de 1640): Va veure les franges de Júpiter i les taques de Mart.

Anton Maria Schyrle (bohemi), el 1645 va afegir 2 lents addicionals al telescopi per posar dreta la imatge invertida, però això no es fa servir en astronomia perquè aquestes 2 lents absorbeixen una part de la llum.

Giovanni Battista Riccioli (italià, 1598-1671), va veure les ombres dels satèl·lits de Júpiter sobre el disc del planeta.

A partir del 1650, ja tots els astrònoms "normals" acceptaven el sistema de Copèrnic.

Willebord Snellius o Snell (matemàtic holandès, 1591-1625), va estudiar la refracció de la llum en el vidre.

El 1621 estableix la llei dels sinus. Per ser constant la relació dels sinus i no la dels angles, es produeix l'aberració esfèrica.

René Descartes (francès, 1596-1650), publica i difon la llei de Snell sense citar el seu veritable descobridor.

Johannes Hevelius (germano-polonès, 1611-1687): Es va dedicar a l'estudi de la Lluna. El 1674 publica la Selenografia, obra que conté els primers dibuixos ben fets de la Lluna.

El 1650 Riccioli descobreix que una estrella de l'Óssa Major és doble = el primer descobriment estel·lar important després de Galilei (això indica que un telescopi no sols ampliava les imatges sinó que permetia veure més estrelles que a ull nu).

El 1651 publica en Nou Almagest, amb els noms de llocs de la Lluna donats a savis i astrònoms.

Hevelius va fer un catàleg de 1.564 estrelles sense telescopi = és el darrer treball important d'observació fet sense telescopi, després de les observacions de Tycho Brahe.

ÈPOCA DELS TELESCOPIS LLARGS

Per disminuir les aberracions es va fer lents amb radis grans = distàncies focals grans = telescopis molt llargs i difícils de manegar. P. ex: Galilei $L = 1,2$ m, Hevelius $L = 3,5$ m i 50 augments.

Christiaan Huygens (holandès 1629-1695), el 1655 tenia un telescopi de 50 mm \varnothing , $L = 3,6$ m i 50 augments. Va fer observació de Saturn i no hi va veure nanses de cap mena.

El 25 mar 1655 va descobrir Tità i en va anunciar el descobriment l'any següent.

El 1659 identifica els anells de Saturn, amb 14,5 anys de període d'oscil·lació = 1/2 període de revolució del planeta.

El 1663, Hevelius tenia un telescopi de 43 m. No era pràctic de manegar. Era fet amb pals de fusta. Huygens els feia sense tub.

Francesco Maria Grimaldi (italià, 1618-1663), va observar que Saturn no era ben rodó. Cassini ho va confirmar i també ho va dir de Júpiter.

Adrien Azout (francès, 1622-1691), pretenia fer un telescopi de 305 m per veure els animals de la Lluna. No es va arribar a fer.

Giovanni Domenico Cassini (italià, 1625-1712), el 1669 va veure la taca roja de Júpiter.

Robert Hooke (anglès, 1635-1703) la va veure el mateix any i durant molts anys se'n va dir la taca de Hooke.

El 1669 Cassini va a París. Telescopi de 41,5 m. Descobreix 4 satèl·lits de Saturn. L'oct 1671 Japet, el des 1672 Rea, el mar 1684 Tetis i Dione. El 1675 veu la divisió dels anells de Saturn que duu el seu nom. Va perfeccionar els mecanismes del telescopi.

James Bradley (anglès, 1693-1762): El 1722 encara usava un telescopi de 65 m de llarg.

EL RELLOTGE

Sense instruments, el moviment dels astres es podia mesurar només en anys, mesos i dies. A partir de 3.500 anys AC, a Egipte ja es va intentar els rellotges de sol, de manera que ja es podia precisar aproximadament 1 h.

A l'època medieval es va fer servir els rellotges de sorra, d'aigua o d'espelma. No eren pas més precisos que els de sol, però almenys es podien fer servir a totes les hores del dia i la nit.

Al segle XIV hom va construir els primers rellotges mecànics, poc exactes.

El 1581, Galilei va observar que un pèndol batejava amb període constant.

El 1656, Huygens va aplicar el pèndol a uns engranatges i un pes. El 1659 va construir un pèndol de batec absolutament constant, guiat per oscil·lar segons una cicloide.

A partir d'aquest mateix any, es pot considerar que ja és possible fer una mesura fiable del temps en hores, minuts i segons.

El 1670, William Clement (anglès) va inventar el pèndol llarg posat dintre d'una caixa, perquè no fos afectat pels corrents d'aire.

Més endavant es va substituir el pèndol per una molla, cosa que va permetre construir rellotges de corda i de butxaca.

Els primers astrònoms que van fer ús d'aquests rellotges nous van ser Jean Picard (1620-1682), director de l'Observatori de París, i Cassini.

El 1673, James Gregory (16138-1675) va fer un pèndol més curt i manejable que batejava a 1/3 de segon.

Amb una major precisió en la mesura del temps, es va descobrir que el Sol avançava i endarreriria el seu pas pel meridià i es va haver d'establir el Sol mitjà.

Cassini va descobrir que Júpiter rotava, veient l'aparició i desaparició dels detalls de la seva superfície. També va veure que el seu eix de rotació corresponia a l'eix més curt del planeta, o sigui que tenia aplanament polar o protuberància equatorial.

Olaus Röhmer (danès, 1664-1710), el 1675 va calcular per primera vegada la velocitat de la llum a base de les diferències de temps (avenços i endarreriments) en els eclipsis dels satèl·lits de Júpiter, observades per ell mateix i per Cassini.

El 1676 l'Observatori de Greenwich tenia 2 rellotges de pèndol, de 4 m de llarg i 2 s de batec.

EL MICRÒMETRE

Durant el primer mig segle després de Galilei el telescopi només es va fer servir per observar però no per determinar la posició dels objectes observats, com ho feia Tycho Brahe amb el seu bastó.

William Gascoigne (anglès, 1612-1644), el 1638 va col·locar 2 làmines de costats rectes en el pla focal de l'objectiu, que es podien acostar i separar mitjançant un cargol de pas fi. Va morir en una batalla i el seu invent no es va difondre.

El 1655-58 Huygens va reinventar un aparell similar, i el 1666 Auzout també, però ho feia amb dos fils. HOOKE també va fer un mecanisme similar.

Coneixent la separació dels fils i l'augment de l'ocular, es podia saber l'angle o distància aparent entre 2 punts de l'espai.

El 1667 Picard va fer servir el micròmetre en triangulacions terrestres (triangles esfèrics), i de la diferència dels resultats respecte al triangle pla va poder calcular molt exactament el \varnothing de la Terra.

Isaac Newton (anglès, 1642-1727) veia que per error en el valor del radi terrestre, el moviment de la Lluna no concordava amb els càlculs fets. Gràcies a la bona mesura de Picard va poder comprovar que els càlculs concordaven amb la teoria.

Picard va dissenyar el telescopi equatorial, amb el qual i amb el micròmetre, es va poder mesurar exactament la culminació o pas de les estrelles pel meridià.

El 1684, Röhmer en va construir un a Copenhaghe amb els tubs cònics, perquè tingués una major rigidesa.

El 1890 el micròmetre també es va aplicar a les mires telescòpiques dels canons d'artilleria.

LES DISTÀNCIES PLANETÀRIES

El 1609 les lleis de Kepler permetien dibuixar un sistema solar a escala, però faltava determinar almenys una distància. Calia mesurar la paral·laxi d'un planeta qualsevol observant simultàniament la seva distància relativa a una estrella des de dos llocs diferents de la Terra. Això va ser possible amb el rellotge i el micròmetre.

El planeta més fàcil d'estudiar era Mart en oposició (distància 0,54 UA). Per això Picard i Cassini van enviar Jean Richier (1630-1696) a la Guaiana francesa, a 6.500 km de distància. Hi va estar de 111671 a 1673. Va mesurar que el batec del pèndol era diferent que a París, o sigui que el valor de la gravetat era diferent i, per tant, que la Terra també tenia protuberància equatorial. Van mesurar la paral·laxi de Mart i van deduir el valor de la UA = 140 Mkm. El Sistema Solar va passar de cop, de tenir milers de km a tenir-ne milions.

A partir dels \varnothing aparents dels planetes també es va poder avaluar els seus \varnothing reals. Aquestes van ser les primeres mesures ben fetes, gràcies al micròmetre i al rellotge.

Aquests aparells també es van aplicar a la navegació. Es podia mesurar la latitud per l'altura màxima del Sol i la longitud per l'angle horari d'estrelles importants de posició (ascensió recta) coneguda, relacionant amb l'hora local, p. ex. de Londres. Per fer això calia tenir un cronòmetre bo, i John Harrison (1693-1776) va guanyar un premi de 20.000 lliures, ofert el 1713 al millor rellotge.

TELESCOPIS REFLECTORS

Els telescopis refractors eren massa llargs. Hooke hi va posar miralls intermedis i va poder reduir la seva llargada a 1/5 part.

També calia eliminar les aberracions. La d'esfericitat es podia treure amb superfícies diferents a la de l'esfera, tals com els paraboloides, però era molt difícil de fer. El 1666 Newton ho provava. L'aberració cromàtica no es corregia ni així, i cada color de la llum formava un focus diferent. Newton va experimentar amb prismes i un raig de llum provinent d'un forat, i va descobrir la descomposició de la llum en colors. Va pensar que l'aberració cromàtica no es podria corregir mai i es va dedicar als miralls.

No se sabia aleshores fer miralls de vidre platejat i es feien de metall polit. El primer que ho va provar era Gregory, que el 1663 va dissenyar un telescopi amb un mirall primari parabòlic, amb un forat al mig i un mirall secundari el·lipsoidal (més lluny del focus) que enviava els raigs de llum a un ocular posat en el forat. Era molt correcte de disseny però difícil de construir en la pràctica, i no ho va aconseguir.

Newton va fer un mirall esfèric amb 6 parts de coure, 2 d'estany i 1 d'arsènic, que era un aliatge blanc, de 2,5 cm \varnothing . Hi va posar un mirall pla a 45° abans del focus i l'ocular en un lateral del tub. El 1668

va ser el primer telescopi reflector que va funcionar. Feia 15 cm de llarg i tenia 40 augmentos, equivalent a un refractor d'1 o 2 m. Després en va fer un altre de 5 cm \varnothing i el va presentar a la Royal Society l'11 de gener 1672.

N. Cassegrain (francès), el 1672 també, va fer un 3r disseny, que s'assemblava al gregorià, però el mirall secundari està abans del focus i és convex. Disminueix una mica el poder d'augment però compensa l'aberració esfèrica i el telescopi resulta molt curt. També s'hi pot posar un mirall pla a 45° però a prop del mirall primari i no a la punta del tub. De totes maneres, la majoria es fan amb el mirall primari foradat.

Encara es va tardar temps a usar els reflectors amb finalitats professionals. Els seus inconvenients eren poc % de llum reflectida = imatges més fosques. El mirall es deslluïa i s'havia de polir contínuament, i també era difícil adaptar-hi un micròmetre. Per tant, els refractors encara es van usar durant molts anys.

MOVIMENT DE LES ESTRELLES

Els primers 70 anys d'observació amb telescopi s'havien aplicat preferentment al Sistema solar. Encara en els anys 1670 els millors mapes estel·lars eren els de Tycho i de Hevelius, fets sense telescopi.

El 1676, Edmund Halley (anglès, 1656-1742) va emprendre la feina de fer un mapa estel·lar nou des de l'illa de Sta. Helena, 16° al sud de l'equador, amb un telescopi de 7,30 m. Hi va enregistrar 341 estrelles meridionals. Va ser el primer mapa estel·lar telescòpic.

El 1675, John Flamsteed (anglès, 1646-1719), primer astrònom reial (Carles II), va rebre l'encàrrec de fundar un observatori a Greenwich. També va dedicar-se a precisar la posició de les estrelles. El seu catàleg va ser publicat el 1712 per Halley i després en va aparèixer una edició pòstuma en 3 volums el 1725. Tenia 3.000 estrelles situades amb una aproximació de 10' d'arc = 1/180 part del \varnothing de la Lluna. Això no hauria pas estat possible sense telescopi.

El 1718 Halley va descobrir que almenys Sírius, Arturus i Aldebaran no eren al mateix lloc que havien assenyalat els astrònoms grecs. Una d'elles s'havia mogut 30' de lloc (\varnothing de la Lluna). O sigui que les estrelles variaven de posició. Això va desfer el concepte que les estrelles estaven posades immòbils sobre una esfera i, per tant, variava radicalment la concepció de l'univers. També va trobar una certa diferència entre la posició de Sírius anotada per Tycho Brahe 150 anys abans i aleshores. Altres estrelles no semblava que es moguessin, per tant, aquelles 3 devien estar més a prop, ja que a més eren molt més brillants. Per tant, la distància de les estrelles a la Terra tampoc no era uniforme.

Halley va calcular que si Sírius era com el Sol, havia d'estar 120.000 vegades més lluny (en realitat està a 500.000 UA) i que, en tal cas, la seva paral·laxi seria d'1" d'arc. Això no es podia pas detectar amb els telescopis del s. XVII, però d'aquesta manera va començar la recerca de les paral·laxis estel·lars.

El 1725, Samuel Molyneux (irlandès, 1689-1728) va posar a Londres un telescopi de 7,30 m i 9,4 cm \varnothing , quasi vertical i fix. Cada dia mirava la mateixa estrella, γ Draconis, i enregistrava l'hora de pas amb gran exactitud, per trobar la manera d'eliminar la refracció atmosfèrica. JAMES BRADLEY va seguir les seves observacions. Del 14 al 28 de desembre 1725 va veure que la seva posició variava cap al sud. Després variava cap al nord, i en un any variava 40" d'arc. el 1728 va trobar l'explicació, consistent en el desplaçament del raig de llum respecte a l'eix òptic del telescopi per efecte de la velocitat de translació de la Terra mentre baixava pel tub. La desviació depèn de la relació entre la velocitat de la llum i la del telescopi. D'aquest fenomen se'n va dir aberració de la llum. De la inclinació que calia donar al telescopi per compensar-la va deduir un valor actualitzat de la velocitat de la llum, que va ser de 283.000 km/s. La llum travessava l'òrbita terrestre en 16m i 26s. Eren valors més acurats que els de RÖHMER. Va ser una altra prova que la Terra es mou al voltant del Sol i també es va poder corregir aquesta aberració.

El 1721, John Hadley (matemàtic anglès) va fer el primer reflector competitiu amb els refractors. Va fer una prova òptica inversa, posant un llum en el focus i observant la uniformitat de la il·luminació en un pla. Així, de manera experimental, va polir un mirall de 15 cm \varnothing no esfèric i pràcticament sense

aberració esfèrica. Va fer un reflector gregorià d'1,80 m que era equivalent al refractor de 37,5 m de la Royal Society que tenia les lents polides per Huygens. També va inventar l'octant i el sextant.

James Short (escocès, 1710-1769), ajudat i patrocinat per Colin McLaurin (matemàtic escocès, 1698-1746), va progressar més en la fabricació i polit de miralls parabòlics. El 1740 feia molts reflectors gregorians, de fins a 3,60 m i 45 cm Ø!

A partir d'aquells moments els refractors havien de millorar molt per poder competir = eliminar l'aberració cromàtica que els reflectors no tenien. Calia doncs obtenir lents acromàtiques.

PRINCIPI DE LES LENTS ACROMÀTIQUES

Es basen en la diferència entre desviació i dispersió de la llum. La desviació és deguda a la diferència entre l'índex de refracció entre l'aire i el vidre i es regeix per la llei de Snell. La dispersió es produeix perquè l'índex de refracció varia segons la longitud d'ona de la llum (per a índex més elevats la variació també és més alta). Aleshores es pot combinar vidres (lents) de densitats diferents de manera que es compensi la dispersió però no la desviació (sinó ja no fóra una lent!). Es combina una lent convexa d'alta desviació i baixa dispersió amb una lent còncava de menor desviació i major dispersió.

Chestger Moor Hall (advocat i matemàtic anglès, 1703-1771) va descobrir les diferències entre 2 classes de vidre: L'ordinari, anomenat crown, i el flint, que conté compostos de plom, és més dens i té un índex major. El flint va ser elaborat pel vidrier anglès George Ravenscroft (1618-1681). Hall va idear una combinació de 2 lents, una convexa de crown i una còncava de flint, que ajustessin per formar una lent bixonvexa amb un sol focus per a tots els colors. El 1733 va encarregar les 2 lents, cada una a una empresa diferent per mantenir el secret, però casualment tots dues van traspasar la feixa a un mateix subcontractista, George Bass, que aleshores es va adonar de la finalitat de l'invent.

El descobriment de la lent acromàtica permetia fer lents de més curvatura i distància focal menor i, per tant, escurçar els telescopis quasi tant com els reflectors. Hall va fer un refractor de 0,50 m i 6,5 cm Ø. De totes maneres ell no va fer progressar més l'invent.

L'invent el va reprendre John Dollond (òptic, 1706-1761) que, coneixedor de la lent acromàtica de Bass, va estudiar el tema i va establir la teoria completa de les lents acromàtiques. El 1757 en va construir una.

Calia endemés corregir l'aberració esfèrica. Com que la lent divergent compensa l'aberració de la lent convergent, combinant adequadament les curvatures i les densitats de les 2 lents, també aquesta aberració es va poder corregir molt. John Dollond i el seu fill Peter Dollond (1730-1820) van patentar la lent i van fabricar-ne. El 1765, Peter Dollond va fer una lent triple, amb 2 de convexes i 1 còncava entremig. Un gendre de John Dollond, Jesse Ramsden (1735-1800) també va fabricar refractors acromàtics, i els refractors llargs van desaparèixer totalment a partir de 1757. Havien durat 100 anys.

De totes maneres, era impossible fer lents de flint de més de 10 cm Ø. Una lent havia de ser perfecta en tota la seva massa, mentre que un mirall només ho havia de ser en la seva superfície. També un reflector tenia una sola superfície per polir i un refractor acromàtic almenys en tenia 4 (en els objectius respectius). Això va fer que a finals del s. XVIII, dels reflectors llargs es passés als reflectors amples.

WILLIAM HERSCHEL

Aleshores apareix una gran figura: William Herschel (1738-1822), nascut a Hannover. El 1757 va emigrar a Anglaterra per no haver d'anar a la guerra. Era músic i astrònom aficionat. Va començar a fer-se telescopis refractors amb lents i tubs. Va treballar amb un reflector gregorià llogat de 0,60 m. Amb l'ajuda de la seva germana Carolina, a partir de 1771 va començar a polir-se els miralls. Va ser el primer després de Newton a estudiar les millors aleacions. Va augmentar el % de Cu en el bronze fins a arribar a una reflexió del 60 % de la llum.

Va polir un mirall parabòlic i el 1774 tenia un telescopi newtonià de 2,10 m i 15 cm Ø, amb 40 augments. Hi va poder veure la nebulosa d'Orió i els anells de Saturn. Amb aquest aparell va observar les muntanyes de la Lluna, les taques del Sol, les estrelles variables i els pols de Mart. Va observar la inclinació de l'eix de rotació.

El 13 març 1781 va veure un objecte en forma de disc i ho va anunciar com un cometa. De seguida es va veure que tenia un contorn definit i que la seva òrbita era circular i més enllà de la de Saturn. Quedava demostrat que era un nou planeta. Aquest descobriment va causar sensació. Es va demostrar que s'havia enregistrat almenys 22 vegades a partir de 1690, però a causa del seu moviment lent era confós amb una estrella. Era al catàleg de Flamsteed com a 34 Tauri. Herschel havia quadruplicat de cop el Ø de l'univers. Johann Elert Bode (alemany, 1747-1826) li va donar el nom d'Urà, pare de Saturn. Aixó es completava la genealogia ascendent Mart-Júpiter-Saturn-Urà.

Herschel va ser elegit membre de la Royal Society i nomenat astrònom reial (?). O sigui que va poder deixar la música i esdevenir professional. El 1788 es va casar amb una viuda rica i gràcies a aixó es va poder dedicar a l'astronomia durant la resta de la seva vida, també amb la col·laboració de la seva germana Carolina.

Va preparar un mirall de 22,5 cm Ø per a un telescopi de 3 m i un de 45 cm Ø per a un altre de 6 m. Va intentar fondre un mirall de 225 kg per a un reflector de 9 m però no li va anar bé. Tot i aixó, el 1786 va emprendre la construcció d'un mirall de 122 cm Ø i un tub de 12,2 m. El rei hi va aportar 2.000 lliures i un compromís de 2.000 més. Va estar acabat el 1789. Aquest aparell recollia i concentrava en el focus una quantitat de llum considerable i permetia veure estrelles de magnitud molt petita. El mirall era inclinat i formava el focus arran de l'embocadura i, per tant, no es necessitava un mirall a 45° com en un reflector newtonià.

Abans d'inaugurar-lo, el 1787, amb el reflector de 60 cm va descobrir 32 satèl·lits d'Urà, Titània i Oberó, batejats així pel seu fill John Frederick William Herschel (1792-1871).

Amb el telescopi de 122 cm va explorar Saturn i va descobrir 2 satèl·lits més, Mimas i Enceladus. El gran telescopi, tot i que estava posat sobre una plataforma giratòria era empipador de manejar i requeria molt temps per repolir el mirall, que tenint més % de Cu era més reflectant, però més vulnerable a la corrosió.

Herschel va escometre també el problema de les paral·laxi estel·lars. Va buscar estrelles dobles, pensant que si no estaven a igual distància de la Terra es podria apreciar un desplaçament diferencial d'una respecte a l'altra. el 1784 tenia fet un catàleg de 434 parells. Va trobar que hi havia moltes més parelles d'estrelles dobles de les que fóra d'esperar estdísticament, i això el va portar al descobriment dels sistemes binaris, amb moviment d'una estrella respecte a l'altra. Això significava traslladar la validesa de la Llei de Gravitació Universal de Newton fora del sistema solar i a tot l'univers. Malgrat tot, encara no va poder detectar cap paral·laxi estel·lar.

També va observar les nebuloses. Havia començat a fer-ho sistemàticament Charles Messier (francès, 1730-1817), amb dos refractors acromàtics petits, d'1,50 m. El 1782 en va fer una llista de 109 que ha esdevingut un catàleg clàssic. Herschel, el 1802 n'havia catalogades 2.500. Amb el seu gran telescopi va poder separar algunes nebuloses en estrelles = descobriment dels cúmuls estel·lars.

Observant els moviments de les estrelles es va poder conjecturar que el sol també es movia cap a Hèrcules, a 17,5 km/s. Si Copèrnic havia tret la Terra del centre de l'univers, ara Herschel demostra que el centre de l'univers (si és que existeix) no està en el Sol ni en el sistema solar.

Quina és la forma de l'univers? El 1750, Thomas Wright (anglès, 1711-1780) havia suggerit una distribució no uniforme i a l'atzar, sinó en forma de núvol com una lent. Herschel ho va verificar mitjançant l'observació. Va comptar les estrelles visibles en 683 regions del cel i va constatar l'augment de la densitat estel·lar en la zona de la Via Làctea. Va estimar-li un Ø de 800 vegades la distància mitjana entre dues estrelles, p. ex. del Sol a Sírius, i un gruix de 150 vegades. També va conjecturar l'existència de 300.000.000 d'estrelles. En realitat se l'ha de considerar com al descobridor de la Galàxia.

MILLORA EN LA FABRICACIÓ DE LES LENTS

El problema de mantenir els miralls tan polits era tan gran com ho havia estat abans el de l'aberració de les lent. Si les lents es podien millorar, realment els refractors farien una revifalla.

Pierre Louis Guinard (artesà suís, 1748-1824), a partir de 1789 va aplicar la tècnica de remenar el vidre fos, i va obtenir un vidre ben homogeni en índex de refracció i sense bombolles. També s'hi va poder incorporar millor metalls pesants per fer el flintglass. Les lents que havien de ser de $\varnothing < 10$ cm, a partir d'aquell moment ja es van poder fer de més de 15 cm.

El 1807, Guinard va treballar junt amb Joseph von Fraunhofer (òptic alemany, 1787-1826), que va aconseguir una lent de 24 cm \varnothing , que es va muntar a l'observatori de Dorpat (Estònia) i després a Pulkovo (a prop de St. Petersburg). el refractor feia 4,30 m i va ser el millor i el més gran durant molts anys. El refractor de Dorpat era molt més manejable que els grans reflectors i ja tenia un mecanisme de rellotgeria per mantenir sempre enfocat el mateix punt.

Per estudiar els índexs de refracció de cada mena de vidre, Fraunhofer buscava una llum sempre de la mateixa longitud d'ona. Va fer passar la llum del Sol per una escletxa estreta abans de passar pel prisma. Entre 1814 i 1817 va anar perfeccionant el seu experiment i va identificar 750 línies fosques en l'espectre del Sol = les línies de Fraunhofer.

Anteriorment William Hyde Wollaston (químic anglès, 1776-1828) ja havia vist aquestes línies fosques. L'aparell complet constava d'una ullera que concentrava la llum en l'escletxa, el prisma i un cercle graduat per mesurar l'angle de refracció de cada color o ratlla. Era l'espectroscopi. Amb l'espectroscopi va començar a analitzar la llum dels astres i va descobrir que no totes les estrelles tenien el mateix espectre.

També va estudiar la difracció i va veure que en posar fils molt acostats en l'escletxa la difracció no augmentava, però sí que apareixia la distorsió perquè els diferents colors (diferents longituds d'ona) es difractaven de manera diferent. Va obtenir espectres sense prisma i ho va millorar fent ratlles primes i paral·leles sobre un vidre = la primera xarxa de difracció.

Fraunhofer, en resum, va convertir els refractors en instruments d'alta precisió, gràcies a la muntura, micròmetre, lents, aparells de rellotgeria, etc. Va aconseguir precisions de 0,01" en declinació i 0,001" en ascensió recta!

LA PARAL·LAXI ESTEL·LAR

Friedrich Wilhelm Bessel (alemany, 1784-1846), el 1810 va supervisar la construcció d'un observatori a Königsberg (Prússia Oriental, ara Kaliningrad, Rússia). Va fer un nou catàleg estel·lar a partir del de Bradley, tenint en compte totes les correccions possibles de nutació, refracció i errors instrumentals. Era el 1818 i hi havia 50.000 estrelles.

La paral·laxi la buscava sobre l'estrella 61 Cygni, de 5^a magnitud. La va triar perquè el 1838, Giuseppe Piazzi (italià) havia descobert que tenia un moviment propi de 5,2" per any i això fei apensar que estava a prop de la Terra. El 1838 va anunciar que 61 Cygni, a part del moviment propi, descrivia una el·lipse amb un desplaçament màxim de 0,31" respecte a la seva posició mitjana = semieix major. La distància calculada era d'11 anys llum.

A Dorpat, Friedrich George Wilhelm von Struve (1793-1864) feia el mateix mb Vega, que té un moviment propi de 0,35" per any. El 1838 va anunciar una paral·laxi de 0,20" (en realitat és de menys de la 1/2 i la seva distància de 27 anys llum).

Thomas Henderson (escocès, 1798-1844), des de la Ciutat del Cap mirava Alfa Centauri, 3^a estrella del cel, amb 3,7" de moviment propi per any. O sigui que era molt gran i es movia molt, totes dues coses propícies. Va prendre mesures i de retorn a Edimburg va fer els càlculs. Per aquest retard va perdre la prioritat en el descobriment. La paral·laxi trobada fou de 0,91" (en realitat és de 0,76"). És l'estrella més pròxima a la Terra i està a 4,3 anys llum.

Coneguda la distància i la magnitud aparent, es podia determinar la lluminositat total, i es va veure que el Sol no era més que una estrella mitjana. Amb aquesta tècnica es podia mesurar distàncies fins a 100 anys llum. El 1900 només s'havia pogut aplicar a 62 estrelles.

El 1884, Bessel va estudiar el moviment de Sírius i va deduir que les giragonses que feia exigien la proximitat d'una altra estrella de massa semblant a la del Sol, però que no es veia. Era el primer descobriment d'una estrella fosca (en realitat va ser una nana blanca). També en va descobrir o calcular una altra a prop de Proció.

El 1883, John Herschel, amb el reflector de 61 cm es va traslladar a El Cap. el 1847 va publicar els resultats del seu treball, amb la descripció de 2.000 estrelles dobles i 2.000 nebuloses. Ell i l'astrònom alemany Carl August von Steinheil (1811-1870) van ser els primers a aplicar tècniques de fotometria elemental per mesurar les magnituds o intensitats de la llum que venia de les estrelles. A partir dels seus treballs es va poder establir l'escala actual d'una magnitud cada 2,512 (arrel 5^a de 100) vegades la intensitat de la magnitud inferior. El gran telescopi del vell Herschel es va desmuntar el 1839.

ALTRE COP ELS REFLECTORS

William Parsons (anglès, 1800-1867), comte de Rosse, el 1845 ocupava un lloc a la Cambra dels Lords. Volia fer el telescopi més gran de tots i ho va fer en una finca seva, al centre d'Irlanda. Va passar molts anys buscant un aliatge adequat perquè Herschel no ho havia deixat escrit. En 17 anys va fer miralls de 38, 61 i 91 cm Ø (el 1840). El lloc no era molt adequat ja que hi havia molts núvols. el 1842 va emprendre la construcció d'un telescopi de 181 cm Ø. El 13 d'abril va fondre el mirall i el va deixar refredar durant 16 setmanes. El va polir i al final de tot se li va trencar. No li va sortir bé fins a la 5^a vegada. el tub feia 17 m i 2,40 m Ø. El va haver de ficar entre 2 parets gruixudes de 22 m llarg x 17 m alt perquè se li aguantes i, per tant, no podia girar més de 15° en el pla horitzontal. El mirall pesava 3,7 t. L'anomenat Leviatan va costar 12.000 lliures i va quedar llest el febrer de 1845. Rosse es va posar a observar les nebuloses. De seguida va veure la primera nebulosa espiral i en 5 anys en va descobrir 14.

El 1847 va estudiar la nebulosa M1, observada per primer cop per John Bevis (anglès, 1693-1771), l'any 1713. Era irregular, amb uns filaments, i en va dir nebulosa del Cranc. El Leviatan es va fer servir durant 60 anys, malgrat ser molt poc pràctic, i el 1908 el van desmuntar.

3 conseqüències importants: Va deixar constància dels mètodes utilitzats en la seva construcció. Va quedar clara la importància de l'emplaçament dels observatoris i la netedat de l'atmosfera. Va quedar clar que era indispensable tenir un sistema pràctic per poder-lo orientar.

James Nasmyt (enginyer escocès, 1808-1890), va fer un telescopi de 51 cm Ø sobre una plataforma giratòria i es podia orientar còmodament cap allà on volia.

William Lassell (cerveser anglès, 1819-1880) havia visitat la construcció del Leviatan i va aplicar el muntatge fet a Dorpat per Fraunhofer a un reflector newtonià de 23 cm Ø i el podia manejar molt bé. Mentrestant s'havia descobert Neptú.

John Couch Adams (anglès, 1819-1892) el 1843 va calcular la posició d'un planeta desconegut a partir de les oscil·lacions d'Urà en la seva òrbita. L'astrònom reial anglès George Biddell Airy (1801-1892) no en va fer cas. Urbain Jean Joseph Leverrier (francès 1811-1877) va fer el mateix dos anys més tard i ho va comunicar a Johann Gottfried Galle (alemany, 1812-1910), el qual, ja en la primera nit d'observació el 23 set 1846 el va trobar i el va anomenar Neptú pel seu color verd.

Només 17 dies més tard, Lassell ja el va apuntar amb un nou telescopi de 61 cm Ø i de seguida va descobrir Tritó. el 18 set 1848 va descobrir Hiperió, satèl·lit de Saturn, i el 1845 Ariel i Umbriel, satèl·lits d'Urà. Per primer cop va decidir emplaçar el telescopi en funció de les condicions atmosfèriques i el 1852 es va traslladar a l'illa de Malta. El 1859 va fer construir un nou telescopi de 122 cm Ø i el 1861 ja era a Malta funcionant. El muntatge era molt perfeccionat, com el de Fraunhofer, i un sol home el feia girar amb una maneta. Per tant, els grans telescopis ja s'havien convertit en aparells manejables i pràctics.

LA FIXACIÓ DE LES IMATGES

La retina no reté les imatges sinó per un temps molt curt, i no pot acumular l'energia que procedeix dels astres dèbils. Per fer això calia l'ajuda d'alguns elements o compostos químics sensibles a la llum, p. ex. el clorur de plata, que es descompon en clor i grànuls negres de plata.

Joseph Nicephore Niepce (francès, 1765-1833) va utilitzar una caixa amb un forat i una lent, amb un asfalt que s'enduria i es tornava insoluble amb la llum. També utilitzava clorur de plata. Va fixar la primera imatge el 1822, però tardava 8 h (1877) i no va tenir èxit.

Louis Jacques Mande Daguerre (francès 1789-1851), el 1829 es va associar amb Niepce i va continuar els treballs amb plaques de Cu recobertes amb plata. Exposades a vapors de iode es convertia en iodur de plata, que es descomponia més depressa que el clorur. Podia obtenir daguerrotips amb exposicions de 20 a 30 minuts.

John Herschel va introduir l'ús del tiosulfat sòdic (hiposulfit) per dissoldre les sals de plata restants i fixar així la imatge.

William Henry Fox Talbot (1800-1877) va introduir el positivat de les imatges a partir dels negatius. El 1844 va publicar el primer llibre il·lustrat amb fotografies.

John William Draper (químic angloamericà, 1811-1882) fou el primer de fotografiar una persona amb una exposició de 7 minuts. El 23 març 1840 va fer la 1ª fotografia de la Lluna, amb una lent de 8 cm Ø i 20 m d'exposició.

Alexandre Edmond Becquerel (físic francès, 1820-1891) va fer la 1ª foto de l'espectre solar el 1842.

William Cranch Bond (EUA, 1789-1859), director de l'observatori de Harvard a partir de 1847, va fer la 1ª foto de la Lluna amb un telescopi gran. Fou el 18 des 1849, amb un refractor de 38 cm Ø i 20 m d'exposició. La foto va causar sensació a Londres, duta pel seu fill George Phillips Bond (1825-1865).

Bond fou ajudat per un bon fotògraf professional, John A. Whipple, amb el qual el 1850 van fixar per primer cop la llum d'una estrella: Vega.

Frederick Scott Adrer (fotògraf anglès, 1813-1899), el 1851 va inventar el procés del col·lodió = solució de nitrat de cel·lulosa amb alcohol i èter, estès sobre una placa de vidre i tractat amb iodur de plata. Els temps d'exposició serien molt menors. El sistema va durar uns 20 anys.

Warren de la Rue (britànic, 1815-1899) va fer les primeres fotos amb col·lodió. el 1852 feia fotos de la Lluna amb un reflector de 30 cm Ø i exposicions de 10 a 30 s. Naturalment les fotos eren molt més nítides i una de la Lluna de 28 mm es va poder ampliar x 20.

Whipple, el 1857 va fotografiar Mizar i Alcor amb el refractor de 38 cm Ø = la primera foto d'una estrella doble. Es podia mesurar la seva separació amb pau i tranquil·litat i es podia comparar molt millor les seves magnituds.

El 1856, Norman Robert Pogson, astrònom anglès, va establir definitivament la relació de 100 a 1 en la relació de lluminositats de la 1ª a la 6ª magnitud i que, per tant, el pas d'una magnitud a la següent era de $2,512 = \sqrt[5]{100}$. Gràcies a la fotografia ja es podia precisar amb decimals la magnitud de cada estrella.

Abans del col·lodió, els físics francesos Jean L. Foucault (1819-1868) i Armand HL. Fizeau (1819-1896) havien fotografiat el Sol. Amb col·lodió ja es va poder fotografiar eclipsis de Sol el 1815 i 1854.

Heirich Samuel Schwabe (alemany, 18 -1875) era un apotecari i astrònom aficionat que tenia un refractor petit, de 5 cm Ø i només podia observar de dia. Per tant es va dedicar al Sol i va dibuixar diàriament les taques durant 17 anys i va descobrir la seva periodicitat o cicles el 1843. El va fixar en 10 anys, tot i que en realitat és d'11. El gran científic alemany Alexander von Humboldt (1769-1859) es va fer ressò d'aquest descobriment el 1851.

Johann von Lamont (germano-escocès, 1805-1879) va adonar-se del cicle de variació del camp magnètic de la Terra, i Edward Sabine (físic britànic, 1788-1883) va relacionar els dos fenòmens i per

tant, que les taques solars tenien efectes sobre la Terra (1852). Això es pot considerar com al naixement de l'astrofísica.

John Herschel va proposar que es fotografiés diàriament el Sol per tenir constància de les taques i la seva evolució i de la Rue va fer construir un heliògraf, amb una lent acromàtica de 8,9 cm Ø i un obturador molt ràpid. Juntament amb Pietro Angelo Secchi (italià, 1819-1879) ho van anar fent a partir de 1860 i van observar les protuberàncies solars. Va ser el primer descobriment astronòmic fet amb ajuda de la fotografia.

Es va prosseguir mentrestant amb l'anàlisi de la llum. Fraunhofer havia observat dues ratlles brillants en l'espectre dels compostos de sodi calents (ratlles D) i també va veure que en l'espectre del Sol hi havia dues ratlles fosques en el mateix indret. També ho va estudiar Foucault el 1849. Va fer passar llum solar per vapors de sodi i les ratlles D, en lloc de desaparèixer es van fer més pronunciades i fortes. O sigui que el sodi calent emet llum d'unes longituds d'ona específiques (espectre d'emissió), però absorbeix aquestes mateixes longituds d'ona quan està menys calent que l'objecte que emet la llum que passa a través seu (espectre d'absorció).

David Alter (físic nordamericà, 1807-1881) va progressar molt en l'estudi dels espectres dels diversos metalls, sòls i en aliatges. L'estudi dels espectres dels elements va tenir un gran impuls en el treball de dos científics alemanys, el químic Robert Wilhelm Bunsen (1814-1887) i el físic Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887). El fogó Bunsen mesclava gas i aire i feia una flama incolora que no interferia els espectres. Van establir clarament que cada element tenia un espectre propi o característic que servia per identificar-lo. Això va permetre descobrir elements nous, com el cesi (1859) i el rubidi (1860), que van ser els primers elements descoberts espectroscòpicament.

Anders Jonas Angström (suec, 1814-1874) va estudiar l'espectre solar amb gran detall mitjançant xarxes de difracció de 2.000 ratlles per cm. El 1868 havia identificat 800 de les ratlles com a pertanyents als diferents elements coneguts. Mesurava la posició de les ratlles segons les seves longituds d'ona en $\text{angströms} = 10^{-10} \text{ m} = 1/10 \text{ de nanòmetre}$.

Es va començar a fer xarxes de difracció per reflexió, per evitar l'efecte diferencial d'absorció de la llum pel vidre. L'astrònom nordamericà Lewis Rutherford (1816-1892) va fer xarxes de 6.700 ratlles per cm. Va estudiar els espectres estel·lars i va ser el primer que els va classificar en tipus. Secchi també ho va fer el 1867.

William Huggins (anglès, 1824-1920) feia servir un refractor de 20 cm Ø i estudiava els espectres de qualsevol objecte. El 1863 va anunciar que les estrelles estaven formades pels mateixos elements presents a la Terra.

Christian Johann Doppler (físic austríac, 1803-1853) va explicar l'anomenat ja per sempre més efecte Doppler. Fizeau, el 1848, va assenyalar que també es podia aplicar a la llum.

Huggins va determinar que una línia important de l'espectre de Sírius estava 1 angström desplaçada cap al vermell, i va deduir que, per tant, aquesta estrella s'allunyava del sistema solar a una velocitat de 47 km/s.

Pierre Jules César Janssen (francès, 1824-1907) va estudiar un eclipsi de Sol el 1868, visible a l'Índia, i va veure unes línies en l'espectre que no va poder identificar. Joseph Norman Lockyer (anglès, 1836-1920), expert en l'espectre solar, va arribar a la conclusió que es tractava d'un element nou present en el Sol = l'heli (en grec Helios = Sol). Aquest element no es va trobar a la Terra fins al 1895, o sigui 27 anys després, pel químic escocès William Ramsay (1852-1916).

PROGRÉS EN ELS REFRACTORS

El telescopi refractor de la Universitat de Harvard, usat per Bond el 1849 per fer les primeres bones fotografies astronòmiques, encara era construït a Europa, per la casa Merz i Mahler d'Alemanya, segons les tècniques de Fraunhofer, però després el progrés en els telescopis ja va passar a mans alemanyes.

Alan Clark (Massachusetts, 1804-1887) polia lents i per demostrar que eren molt bones es va posar a fer bones observacions, p. ex. a separar estrelles dobles. Així la seva fama va arribar fins a Europa.

William Rutter Dawes (anglès, 1799-1861) era expert en estrelles dobles. Va valorar els treballs de Clark (1861) i li va adquirir lents fetes seves. En van instal·lar una al telescopi de Huggins i el 1859 Dawes el va presentar a Londres a Rosse i a John Herschel. Això va ser la seva consagració com a constructor de lents. Va establir una fàbrica a Cambridge, Mass., ajudat per dos fills seus, especialment Alvan Graham Clark (1832-1897).

Frederick Augustus Porter Barnard (EUA, Mass. 1809-1889), matemàtic, era rector de la Universitat de Mississipi, i el 1860 va encomanar als Clark una lent de 47 cm Ø per superar Harvard. el 1862, provant aquesta lent, Alvan Clark va descobrir la companyia obscura de Sírius anunciada per Bessel.

La lent no va arribar a Mississipi a causa de la guerra civil nordamericana i va anar a parar a Xicago, a l'observatori Deborn de la universitat. Va ser utilitzada per George Washington Hough (1836-1909) per estudiar estrelles dobles i Júpiter.

Simon Newcomb (Canadà-EUA, 1835-1909), director de l'Observatori Naval EUA, va obtenir un pressupost de 50.000 \$ per a un nou telescopi. Els Clark el van fer de 66 cm Ø o 13 m de llarg. La lent pesava 45 kg i era la més gran i millor del món.

Asaph Hall (EUA, 1829-1907) era autodidacte però va arribar a ser ajudant de Bond a Harvard el 1857 i després a l'Observatori Naval el 1863. el 1877 hi va haver una gran aproximació de Mart a la Terra i Hall es va posar a observar a veure si veia algun satèl·lit, però no en veia cap. L'11 d'agost va decidir plegar però la seva muller va insistir que ho provés una altra nit. I aquella altra nit va veure un objecte diminut que no es va poder confirmar fins al dia 16, perquè mentrestant el cel estava tapat. el dia següent 17, va veure el segon satèl·lit. els van posar el nom dels dos fills de Mart, Fobos (temor) i Deimos (terror). Un cràter enorme que hi ha a Fobos va ser batejat amb el nom de Stickney, nom de soltera de la sra. Hall, gràcies a la insistència de la qual s'havia fet el descobriment.

Giovanni Virginio Schiaparelli (italià, 1835-1910) durant la mateixa aproximació també estudiava Mart amb un refractor de 21,5 cm Ø fet per Merz i Mahler. Els primers intents de fer un mapa de Mart van ser fets per Gaetano Fontana (1645-1719) i el 1666 per Cassini. El primer mapa decent va ser fet el 1830 per Wilhelm Beer (1797-1850). El mapa de Schiaparelli però, va ser el millor durant tot un segle. De més a més hi va indicar canals = lleres, terme que en anglès fou traduït per canals = canals, tingut per obres artificials, cosa que va produir un rebombori enorme i va encetar la polèmica sobre l'existència o no existència de marcians.

A França, els germans Paul Pierre Henry (1848-1905) i Prosper Mathieu Henry (1849-1903) i P. Gautter, òptic, van fer una lent de 62 cm Ø el 1891.

A Irlanda, Thomas Grubb (1800-1878) i Howard Grubb (1844-1931), pare li fill, també feien telescopis. El 1893 el fill va fer una lent de 71 cm Ø per a l'observatori de Greenwich.

El financer James Lick (EUA, 1796-1876), el 1874 va deixar en testament 700.000 \$ per fer un gran observatori amb el telescopi més gran del món. els Clark es van posar a fer una lent de 91 cm Ø. Va costar 50.000 la lent sola i van estar 14 anys a fer-la. L'observatori es va fer a Mount Hamilton, al nord de Califòrnia, i el telescopi feia 18,3 m. Es va inaugurar el 3 gen 1888. el vell Clark feia poc que havia mort i Lick uns 12 anys. Es va fer enterrar en el pilar que aguanta el telescopi.

Amb aquest aparell, Edward Singleton Holder (1846-1914) i James Edward Keeler (1857-1900) es van posar ràpidament a observar Mart i no hi van veure cap canal. Es va constatar que, a causa de les fluctuacions de l'atmosfera, els telescopis enormes no milloraven substancialment l'observació planetària, però que en canvi eren molt útils per observar objectes petits o llunyans.

En efecte: Edward Emerson Barnard (1857-1923), amb el reflector Lick, el 1892 va descobrir Amaltea, 5è satèl·lit de Júpiter, de només 110 km Ø i situat només a 108.000 km de la seva superfície. Trobar un cos tan petit i tan a prop d'un planeta tan brillant requeria un aparell excepcional i una agudesa visual també excepcional. Va ser el darrer objecte del Sistema Solar descobert per observació visual i no fotogràfica.

John Martin Schaeberle (1853-1924), amb el refractor Lick, va descobrir el 1895 la companya obscura de Proció, també predita per Bessel mig segle abans. També va dissenyar una màquina de fotografier telescòpica, amb una lent de 12,5 cm Ø i un tub de 12 m. La va fer servir per estudiar un eclipsi de Sol, el 16 abr 1893, des de Xile, i va demostrar l'existència de la corona solar.

La Universitat de Carolina del Sud va encarregar a Clark una lent de 101 cm Ø, però un cop gastats 20.000 \$ en el bloc de vidre van acabar els diners.

George Ellery Hale (1868-1938), professor d'astrofísica a la Universitat de Xicago, es va proposar aprofitar aquest material i va perseguir insistentment el financer Charles Tyson Yerkes (1837-1905), propietari dels tramvies de la ciutat. Li va anar estirant la butxaca fins a la suma de 349.000 \$ per acabar el telescopi i fer l'observatori al costat del llac Geneva, a Winsconsin. La lent pesava 230 kg i el telescopi 28 tones, però es movia fàcilment. Es va inaugurar el 21 mai 1897, just 18 dies abans de la mort del fill Clark, el 9 de juny.

Aquests dos grans refractors no han estat superats encara i probablement no ho seran mai perquè ja estan en el límit. Una lent major sempre serà imperfecta i pandejaria o flexaria en el centre degut al seu pes propi i això introduiria aberracions inacceptables.

RETORN ALS MIRALLS

El problema principal dels reflectors era que els miralls s'havien de repolir constantment. Tot i així anaven competint amb els reflectors perquè eren més petits, manejables i econòmics. Calia doncs anar a miralls de vidre. No podien ser metal·litzats pel darrera ja que aleshores la llum hauria de travessar 2 cops la cara anterior del mirall i hi hauria excessives distorsions. si es provava de posar el metall al davant quedava rugós, i si es volia polir, la capa desapareixia de tant prima que era.

La solució es va trobar el 1856 per Justus von Liebig (químic alemany, 1803-1873), que va trobar la manera de dipositar una fina capa de plata sobre el vidre, a base d'una solució de nitrat amònic i de plata que deixava precipitar lentament la plata sobre el vidre, de manera que després es podia polir. La plata tenia menys corrosió que el bronze i, si mai calia, es podia redissoldre i tornar a precipitar.

Steinheil (1856) i Foucault (1857) van aplicar la tècnica de von Liebig a miralls de telescopi. Foucault, a més, va idear un sistema òptic de comprovació de la forma parabòlica (millorant la de Hadley) que permetia trobar imperfeccions de l'ordre d'1 nm. Els miralls de metall van desaparèixer. el darrer va ser un de 122 cm Ø fet el 1862 per a Melbourne, Austràlia, però va ser un fracàs perquè va perdre la brillantor molt ràpidament.

Henry Draper va millorar el procediment de von Liebig i va fer un mirall platejat de 39 cm Ø (1862) i un de 71 cm Ø (1872). A França van instal·lar un mirall de 120 cm Ø (1877) que encara està en servei.

ELS GRANS MAPES ESTEL·LARS I EL PROGRÉS EN LA FOTOGRAFIA ASTRONÒMICA

Friedrich Wilhelm August Argelander (alemany, 1799-1875), des de l'Observatori de Bonn, entre 1840 i 1859 es va dedicar a anar anotant totes les estrelles que passaven a l'abast del seu refractor de 8,5 cm Ø, equipat amb una lent de Fraunhofer. El resultat va ser un catàleg enorme, el Bonner Durchmusterung, amb un total de 457.848 estrelles, des del pol nord fins a una declinació de -2°. Posteriorment, fins 1930, aquest treball es va estendre a tot l'hemisferi sud.

Després d'aquest treball, hom va veure que calia apel·lar a la fotografier, que ja anava bé per a la Lluna i els planetes (exposicions curtes), però no tan bé per a les estrelles. Rutherford va començar a fotografier estrelles des de Nova York, amb un refractor de 28,5 cm Ø i amb exposicions de fins a 3 m.

Benjamin Arthop Gould (EUA, 1824-1896), des de Córdoba (Argentina) va fotografier les estrelles de l'hemisferi sud entre 1870 i 1884. El problema era que el col·lodió, amb exposicions llargues s'assecava i no podia competir amb l'observació visual.

Richard Leach Maddox (químic britànic, 1816-1902) va fer servir gelatina en lloc de col·lodió (1871) per vehicular la plata, i d'aquesta manera s'obtenia una placa seca que permetia majors temps d'exposició. Al principi, la placa seca era menys sensible que la humida, però ja el 1880 va arribar a ser-ho 60 vegades més. De més a més, no calia preparar-les, usar-les i revelar-les en el mateix moment com les humides. Al principi, la sensibilitat de les sals de plata al color blau era major que al vermell i al taronja, i per això algunes estrelles es veien és feblement en foto que per a l'ull. Aquest problema va ser corregit per Hermann Wilhelm Vogel (químic alemany, 1834-1898) el 1873.

De seguida es va aplicar la tècnica de la placa seca a la fotografia estel·lar. Aquests treballs els van emprendre principalment David Gill (escocès, 1843-1914): Des del Cap de bona Esperança, a partir de 1882 es va dedicar a fotografiar regions de cel. Les seves fotos van ser interpretades per Jacobus Cornelius Kapteyn (holandès, 1851-1922), que va estar 10 anys calculant posicions i el 1904 va publicar el *Durchmusterung* fotogràfic d'El Cap, amb 454.000 estrelles, situades a menys de 19° de declinació del pol sud. Una tasca similar la van fer a l'hemisferi nord els germans Henry els anys 1886 i 1887 amb un refractor de 34 cm Ø.

L'avantatge principal de la fotografia és que la placa acumula la llum que rep, cosa que no pot fer la retina. També mitjançant la fotografia es pot definir millor la forma de les nebuloses.

Isaac Roberts (britànic, 1829-1904) va perfeccionar el seu refractor eliminant la flexió del tub i les sotragades per poder fer unes bones fotos de molt llarga exposició. El 1886 va descobrir el núvol de pols que envolta les Plèiades i que reflecteix la seva llum. També va descobrir que la nebulosa d'Àdròmeda era espiral, com la del Remolí, descoberta 40 anys abans per Lord Rosse.

Keeler, també des de l'observatori Lick, es va dedicar a fotografiar nebuloses, i va demostrar que, per a aquest treball, els reflectors eren millors que els refractors. Va establir que de nebuloses almenys n'hi havia 100.000 (10 vegades més), i que la majoria tenien estructura espiral.

Maximilian Franz Joseph Cornelius Wolf (alemany, 1863-1932), a partir de 1891 es va dedicar a descobrir asteroides a l'engròs. En va trobar 582, i el seu successor Karl Reinmuth en va trobar 980.

Wolf va trobar Aquil·les, el primer dels asteroides troians de Júpiter, el 1906. Aquesta disposició estable en forma de triangle equilàter entre la situació d'aquests asteroides, Júpiter i el Sol, havia estat assenyalada el 1722 per Joseph Lagrange (italofrancès, 1763-1823).

Gustav Witt (alemany) va descobrir Eros, un asteroide que s'acosta a la Terra més a prop que Mart.

Amb el progrés de la fotografia hom va començar a fotografiar els espectres. Com que un espectre dispersa la llum procedent d'una estrella, la intensitat de la llum en cada punt es debilita molt i, per tant, el temps d'exposició s'allarga. Les primeres fotos espectrals enregistrades van ser les de Sírius i Capella per Huggins el 1863, encara amb placa humida, però van quedar borroses i no es podia veure les ratlles.

El maig de 1872, Henry Draper ja va treure una foto millor de l'espectre de Vega, i a l'agost, una altra foto on es veia les ratlles per primer cop.

Hermann Karl Vogel (alemany, 1841-1907) es va especialitzar en espectrografia a partir de 1873, i des de 1888 es va posar a determinar les velocitats d'apropament o allunyament de les estrelles.

ELS REFLECTORS TORNEN A PASSAR AL DAVANT

La fotografia va permetre corroborar que els espectres eren diferents entre si i que permetien agrupar les estrelles en classes. L'estudi dels espectrogrames (= espectres fixats en fotografia) de Draper, va ser fet per Edward Charles Pickering (EUA, 1846-1919), director de l'Observatori de la Universitat de Harvard. El 1889 havia acabat l'examen espectrogràfic de les estrelles de l'hemisferi nord i se'n va anar a continuar-ho a Arequipa, a l'hemisferi sud. Tots els espectres obtinguts van formar el catàleg Henry Draper, completat el 1924.

Annie Jump Cannon (1863-1941) va establir la classificació actual dels espectres i de les estrelles en els tipus espectrals O, B, A, F, G, K, M, N, R i S, segons temperatura decreixent.

Antonia Caetana Maury (1866-1952) havia fet una altra classificació espectral més complicada que no va tenir èxit, però el 1889, observant Zeta UMa (una de les dues estrelles de Mizar), va veure que unes determinades ratlles a vegades coincidien i a vegades es desdoblava. Això es va interpretar en el sentit que la tal estrella en realitat també era una estrella doble, les dues components de la qual no se separaven amb telescopi però que eren detectades espectroscòpicament pel corriment de les seves ratlles, ja que periòdicament els seus dos components s'acostaven i s'allunyaven respecte a la Terra. Era doncs el descobriment de les binàries espectroscòpiques, de les quals avui dia hom en coneix més de 1.500.

Edwin Brant Frost (EUA, 1866-1935), el 1908 va descobrir que Z UMa també era una binària espectroscòpica.

Henry Augustus Rowland (físic EUA, 1848-1901) va fer unes xarxes de difracció còncaues que concentraven la llum per si mateixes, no necessitaven altres lents o miralls, i així els espectres eren més brillants. Va fer xarxes de 8.000 línies per cm i va assolir un espectre solar de 12 m amb 20.000 ratlles.

Hale va construir un aparell anomenat espectroheliògraf, amb el qual i per mitjà d'un sistema de regates mòbils podia fotografiar diferents zones del Sol, però sempre amb llum procedent d'una part estreta de l'espectre, p. ex. amb llum de l'H o del Ca, i poder deduir així la densitat de cada element en les diferents regions del Sol. Henry Alexander Deslandres (francès, 1853-1948) va fer independentment un aparell similar el 1891.

Hale va aplicar l'espectroheliògraf a un tipus de telescopi solar especial d'estructura fixa, al qual es dirigia la llum del Sol mitjançant un mirall mòbil. Així l'espectroheliògraf podia ser un aparell fix. el 1903 es va acabar un telescopi d'aquest tipus gràcies a un donatiu de 10.000 \$ de la sra. Helen Snow.

El 1904 Hale va transportar el telescopi Snow i altres aparells al Mont Wilson, al sud de Califòrnia, per consell de William Henry Pickering (1858-1938), germà menor d'Edward Charles. Com que les ratlles en les taques eren més fortes que en altres zones del Sol, es va deduir que eren zones més fredes i que, per tant, absorbien més.

El 1908 van veure que algunes ratlles de les zones de les taques es desdoblaven = comprovació de l'efecte Zeeman (físic holandès, 1865-1944), consistent en el desdoblament de les ratlles espectrals quan la font lluminosa està sotmena a un camp magnètic. Això volia dir el descobriment del magnetisme solar, o sigui que va ser la primera observació d'efectes magnètics fora de la Terra.

El 1913 es va comprovar que cada cicle d'11 anys de taques solars comportava una inversió en el sentit del magnetisme.

Wilhelm Wien (físic alemany, 1864-1928) va demostrar el 1893 que els espectres variaven amb la temperatura i això va permetre mesurar la temperatura de les estrelles, p. ex. el Sol uns 6.000 ° i Sírius 11.000. En general les temperatures oscil·laven entre 2.500° i 21.000°.

Ejnar Hertzsprung (danès, 1873-1967) va comparar la lluminositat de les estrelles, com si estiguessin totes a la mateixa distància (magnitud absoluta = magnitud mesurada a 10 pc) i va veure que les estrelles del mateix tipus espectral (de la mateixa temperatura) tenien lluminositats molt diferents. Hi ha estrelles molt grans i estrelles molt petites, p. ex. de roges no en van trobar de mida mitjana. Tot això va conduir cap a l'estudi i elaboració de les teories sobre l'evolució estel·lar.

Hale va emprendre la construcció d'un gran telescopi reflector a Mt. Wilson, aprofitant un bloc de vidre de 153 cm ja existent. George Willis Ritchey (1864-1956) va dedicar-se a polir-lo usant per primer cop carborúndum. El polit es va acabar el 1908. Era el mirall més gran construït excepte el de Lord Rosse, però tècnicament era molt i molt superior. Amb 4h d'exposició es podia fotografiar estrelles de 20^a magnitud.

Amb aquest reflector, Walter Sydney Adams (EUA, 1876-1956) va obtenir l'espectre de l'estrella Sírius B (deduïda per Bessel i vista per Clark), que revelava una temperatura de 10.000° = la mateixa de Sírius A. Però si estant a igual distància i a igual temperatura no es veia, és que era molt petita = situació inversa a la de les gegants roges, que són molt grans però fredes. Aquesta era molt petita i calenta, d'un Ø de 27.000 km, com el planeta Urà. Això va ser el descobriment de les nanes blanques. La massa de

Sírius B és semblant a la del Sol = densitat enorme, ja que l'estructura atòmica hi queda aixafada i els nuclis dels àtoms estan ajuntats uns amb els altres.

Amb el telescopi de Mt. Wilson, ni EC. Pickering ni Barnard no van veure mai canals a Mart. Camille Flammarion (francès) en canvi, defensava que hi havia vida intel·ligent. Percival Lowell (EUA, 1885-1916) tenia molts diners i es va construir un observatori propi a Flagstaff, Arizona, i hi va instal·lar telescopis fets per Clark. Va ser un acèrrim partidari dels canals de Mart. Tot i ésser un dilettant, va observar durant molts anys i va dibuixar molts mapes amb canals i va escriure llibres, contribuint a la polèmica aixecada des de l'època de Schiaparelli.

Hale pretenia construir un telescopi encara més gran. JD. Hooker li va prometre diners per fer un mirall de 2,54 m Ø. Van tenir moltes dificultats per fondre'l (a França) i polir-lo. El telescopi pesava 90 tones i va entrar en funcionament el 1918. Poc abans, John Alfred Brasehar (EUA 1840-1920) havia fet un telescopi d'1,83 m Ø amb mirall recobert d'alumini, que va ser per poc temps el primer que superava el Ø del telescopi de Lord Rosse.

Amb el telescopi Hooker es va avançar molt en el coneixement de la galàxia. Ja el 1784, John Goodricke (anglohollandès 1764-1786), va observar la variació regular de Delta Cephei (5,37 dies). Després se'n va descobrir d'altres i se'n va dir "cefeides". Se'n coneixia unes 170 de diferents magnituds i períodes, però no se sabia la distància de cap perquè totes estaven massa lluny i fora de l'abast de les mesures per paral·laxi.

El 1912, Henrietta Leavitt Swan (EUA, 1868-1921), des d'Arequipa, va comparar les cefeides del núvol petit de Magalhaes = totes a una distància similar, i va descobrir que la seva lluminositat era proporcional al període d'oscil·lació. Per tant, dues cefeides del mateix període es pot suposar que són iguals, i si tenen diferent magnitud es pot avaluar la relació de les seves distàncies a la Terra. Una explicació teòrica d'aquest fenomen va ser donada el 1924 per Arthur Stanley Eddington (anglès 1882-1944).

Harlow Shapley (EUA, 1885-1972) estudiava els cúmuls globulars i va veure que no estaven uniformement distribuïts, sinó que 1/3 dels coneguts estava a Sagitari, en un 2 % del cel visible. John Herschel també ho havia observat. Shapley va deduir que estaven posats simètricament al voltant del centre de la galàxia i que era el sistema solar el que estava descentrat. Era la primera conjectura sobre la nostra situació. Ho va demostrar treballant amb el telescopi Hooker i estudiant les cefeides dels diferents cúmuls, amb la qual cosa va deduir les seves distàncies i va poder elaborar un model tridimensional de la seva distribució. el fet que a Sagitari la Via Làctea es vegés més fosca, va fer conjecturar a Barnard i Max Weber l'existència de nebuloses fosques de pols i gas que ocultaven les estrelles del seu darrera.

Hertzsprung, per anàlisi estadística de la velocitat d'acostament o allunyament de moltes cefeides va estimar la seva distància el 1913. Va resultar que eren estrelles molt grans i brillants, p. ex. de 600 vegades el Sol. Shapley va deduir les distàncies dels cúmuls globulars i d'aquí la dimensió de la Via Làctea, i les dimensions dels núvols de Magalhaes i les seves distàncies.

Albert Abraham Michelson (físic germanoamericà, 1852-1931) va inventar l'interferòmetre el 1881. Amb aquest aparell aplicat al telescopi Hooker es podia mesurar la convergència dels raigs procedents de dos extrems del disc d'una estrella. L'any 1920 s'aplicava a mesurar la separació de binàries i el 13 de setembre es va mesurar el Ø de Betelgeuse en 0,045" = un Ø de 480 Mkm = 350 Ø solars. Mira Ceti tenia un Ø de 640 Mkm.

Resum dels grans telescopis esmentats:

Diàmetre	Situació	Estat	Nom
Ø 0,91 m	Mt. Hamilton	Nord de Califòrnia	Lick
Ø 1,01 m	Lake Geneva	Wisconsin	Yerkes
Ø 2,54 m	Mt. Wilson	Sud de Califòrnia	Hooker
Ø 5,08 m	Mt. Palomar	Califòrnia	Hale

FORA DE LA GALÀXIA

Amb el telescopi Hooker es va estudiar la nebulosa d'Andròmeda, que no se sabia què era. El seu espectre havia estat obtingut el 1899 per Julius Scheiner (alemany, 1855-1913) i era molt semblant als espectres de les estrelles i no a un espectre d'absorció donat per una massa de gas. El 1913, Vesto Slipher (EUA, 1875-1969) va fer el mateix amb la nebulosa que rodeja les Plèiades i va trobar que, tot i essent de gas, reflectia l'espectre de les estrelles del cúmul. el 1885 va aparèixer a Andròmeda una nova (supernova?) que va assolir la 7^a magnitud, i el 1901 en va aparèixer una altra a Perseu que va assolir la magnitud 0. El 1911, Frank Washington Very (EUA, 1852-1927) va formular la hipòtesi que aquestes 2 noves eren semblants, només que la 1^a estava més lluny. Hebert Doust Curtis (EUA, 1872-1942) la va buscar des de Mt. Wilson el 1917 i 18 i va trobar moltes noves a Andròmeda, per tant va deduir que no podia ser un objecte petit i pròxim sinó gran i llunyà. Curtis doncs, va deduir que Andròmeda era un objecte extragalàctic situat a 500.000 anys llum. Shapley, en canvi, opinava que les nebuloses espirals eren objectes galàctics. El telescopi Hooker ho va aclarir amb la seva superior potència. El 1919, Edwin Powell Hubble (EUA, 1899-1953) va poder detectar estrelles individuals en els seus braços espirals, i per tant quedava demostrat que era una altra galàxia i també, per tant, que hi havia moltes altres galàxies a part la nostra.

La seva distància es va determinar el 1923 pel mètode de les cefeïdes, suposant que la llum no arribava atenuada per núvols de pols i que la seva relació de període-lluminositat era la mateixa que aquí. Va resultar una xifra de 800.000 anys llum, que més tard es va demostrar que era subestimada.

Gràcies a l'obscuriment de la ciutat de Los Angeles per causa de la II^a guerra mundial, el 1942, Walter Baade (germanoamericà, 1893-1960) va trobar estrelles ja en el nucli d'Andròmeda, que eren diferents que les dels braços. Aquestes eren vermelloses (població II) mentre que les dels braços eren blanques i blavoses (població I). Això és degut a diferent edat de formació i a diferent composició. Les cefeïdes usades per Leavitt i Shapley als núvols de Magalhaes i en els cúmuls globulars eren de població II, mentre que les de Hubble a Andròmeda eren de població I. Aleshores Baade va descobrir que la relació període-lluminositat era diferent per als dos tipus d'estrelles i que, per tant, Andròmeda estava quasi 3 cops més lluny del que hom creia, o sigui a 2,3 M d'anys llum. L'escala de l'univers va augmentar de cop.

El telescopi Hooker també va servir per comprovar una de les prediccions d'Albert Einstein (físic alemany, 1879-1955), consistent que la llum que es mogué contra l'atracció d'un camp gravitatori perdria energia = baixaria la seva freqüència = correria cap al vermell. WS. Adams ho va comprovar el 1925 amb la llum de Sírius B, que té una gravetat 2.500 cops major que la del Sol. També quedava demostrada així la gran densitat de les nanes blanques.

Milton La Salle Humason (EUA), que treballava amb Slipher i Hubble, era un gran expert a obtenir espectres de galàxies molt tènues. Es va observar que totes, tret d'Andròmeda i alguna altra, s'allunyaven de la Via Làctea, i que com més lluny estava, s'allunyaven més de pressa. El 1928, va trobar NGC7619 que s'allunyava a 3.800 km/s, i el 1936, el cúmul de galàxies de l'Óssa Major a 40.000 km/s = 1/7 de la velocitat de la llum. D'aquets valors, Hubble va deduir que la velocitat d'allunyament era proporcional a la distància i que tot l'univers estava en expansió.

Willem de Sitter (holandès, 1872-1934) ho havia demostrat teòricament el 1917 a partir de la Teoria General de la Relativitat d'Einstein. De la constant de Hubble resulta que a 12.500 M d'anys llum les galàxies ja s'allunyen a la velocitat de la llum i que més enllà no podem veure res. El \varnothing de l'univers observable és doncs de 25.000 M d'anys llum. Georges Lemaître (belga, 1894-1966) va proposar el 1927 que l'expansió de l'univers procedia d'una massa concentrada de matèria que va anomenar "ou còsmic", que havia explotat. George Gamow (físic russoamericà, 1904-1968) ho va batejar amb el nom de "big bang", nom que s'ha popularitzat molt.

NOUS TELESCOPIS

L'èxit del Hooker va dur a la construcció de nous grans reflectors entre 1920 i 1940. Els grans miralls parabòlics tenien una gran potència però patien de l'aberració de "coma" per als raigs-objectes

que no venien ben bé al centre de la imatge. Bernard Voldomar Schmidt (òptic russoalemany, 1879-1935) va construir uns aparells amb mirall esfèric = sense aberració de coma, als quals va corregir l'aberració esfèrica amb una lent especial dita placa correctora. Aquesta lent és més gruixuda al centre, menys a la perifèria i menys encara entremig. Aquests telescopis van molt bé per fer fotografies, ja que permeten treure fotos molt bones de regions relativament grans de cel, cosa que no es pot fer amb els grans reflectors. En tal cas se'n diuen cambres Schmidt. La més gran té un \varnothing de 2 m i una placa correctora d'1,34 m, i està a l'Observatori Karl Schwarzschild, a Jena, a l'antiga DDR.

Bernard Ferdinand Lyot (francès, 1897-1952) va inventar un dispositiu dit coronògraf, que permet treure fotos de la corona solar sense necessitat que hi hagi un eclipsi. L'examen de l'espectre de la corona solar va demostrar que aquesta atmosfera solar estava molt més calenta que la mateixa superfície del disc solar (5.700°), i que assolía $1.000.000^\circ$. A l'observatori de Sacramento Peak, New Mexico, hi ha un coronògraf de 40,5 cm \varnothing i un telescopi solar de 76. A Kitt Peak, Tucson, Arizona, des de 1960 hi ha un telescopi solar de 91 m de distància focal i que dóna imatges del Sol d'1 m \varnothing . Els 2/3 de l'aparell estan a sota terra i hi ha un mirall de 204 cm orientable, situat a 33 m sobre terra que li envia la llum.

L'any 1923, Hale encara projectava un telescopi més gran. Parlava de 7,62 m, però finalment es va decidir per la mida més realista de 5,08 m. Va començar a recaptar diners i es va escollir un emplaçament més apartat de Los Angeles, que va ser el Mont Palomar. Volien fer el mirall de quars fos, com el del telescopi de Kitt Peak, però no se'n van sortir i el van fer de pyrex, que conté òxid de bor. El pyrex té més dilatació que el quars, però molta menys que el vidre ordinari. Aquest mirall no és massís sinó prim per alleugerir-li el pes i amb nervis al darrera per donar-li resistència. el primer vidre es va fondre el 24 de març de 1934 i no va resultar prou bo perquè es van desprendre algunes peces del motlle. El segon (59.000 kg) es fa fondre el 2 de desembre i el van deixar refredar durant 10 mesos. Després el van dur de New York a Pasadena, Cal, en tren a 40 km/h. Durant el polit el van rebaixar 10 cm del centre i li van treure 4.500 kg de material. Al final pesava 14.500 kg. Hale va morir el 1938, abans que el treball estigués acabat, i el telescopi va rebre el seu nom. El telescopi es va inaugurar el 3 de juny de 1948. Podia fotografiar objectes de 23^a magnitud. A Mont Palomar també s'hi va instal·lar una cambra Schmidt de 122 cm.

El 1956 ja s'havia pogut obtenir espectres de galàxies a 1.000 anys llum, i el seu corriment al vermell va demostrar que s'allunyaven a $60.000 \text{ km/s} = 1/5$ de la velocitat de la llum.

Ja no s'ha fet telescopis més grans (llibre publicat l'any), fora el de Zelenchukskaya, al Càucus, de 6 m \varnothing . A l'observatori Lick s'hi va instal·lar el 1958 un reflector de 3,05 m. Cal mencionar també el telescopi W. Herschel, de 4,2 m \varnothing , tercer del món, instal·lat a l'Institut d'Astrofísica de Canàries, a l'observatori del Roque de los Muchachos, a l'illa de La Palma, junt amb l'Isaac Newton, de 2,5 m, i el Jacobus Kapteyn, d'1 m. El telescopi Herschel s'ha construït novament amb muntura atzimutal i segueix els astres gràcies a motors de velocitat variable comanats informàticament. Així s'ha pogut disminuir i simplificar la seva estructura, \varnothing de la cúpula, etc.

Avui dia ja no és previsible que es construeixin telescopis més grans, a causa de l'atmosfera que no permet treure'n major profit, i la tècnica s'orienta cap a observació des de coets, satèl·lits i sondes espacials (*cal tenir en compte que aquest llibre es va escriure l'any 1975*).

AMPLIACIÓ DE L'ESPECTRE OBSERVAT

Ja el 1780, William Herschel havia comprovat, posant un termòmetre, que més enllà de l'extrem vermell de l'espectre solar l'escalfament era major que en la part de l'espectre visible. Això demostrava l'existència d'una radiació que va ser anomenada infraroja. Aquesta radiació també descomponia el clorur de plata.

Johann Wilhelm Ritter (físic alemany, 1776-1810) va trobar el 1801 que la descomposició del clorur de plata encara era més ràpida ultrapassat l'extrem violeta = radiació ultravioleta. A partir d'unes certes longituds d'ona més allunyades de l'espectre visible, les radiacions ultravioleta ja són absorbides per l'atmosfera, les primeres (per sota de 292 nm) per l'ozó, i les segones pel vapor d'aigua i el CO_2 .

El 1850, Macedonio Melloni (físic italià, 1792-1854) va refractar i dispersar radiació infraroja amb cristalls de ClNa.

L'estudi de la part de l'espectre ultravioleta que travessa l'atmosfera s'estudia millor amb reflectors perquè les lents dels refractors absorbeixen ràpidament les longituds d'ona curtes.

El 1874, William de Viveslie Abney (1843-1920) va fotografiar la radiació infraroja. A finals dels anys 30, Charles W. Hetzler, astrònom EUA, amb el refractor Yerkes va detectar estrelles fredes, amb temperatures de 1.000 a 2.000°. Abans, Lord Rosse havia pogut mesurar la radiació infraroja de la Lluna plena, concentrant-la en un aparell termoelèctric. Els anys 20, William Weber Coblentz (físic EUA, 1873-1962) va aconseguir detectar radiacions infraroges d'estrelles, amb un aparell d'alta precisió (0,0001°) anomenat bolòmetre. Detectar radiació infraroja costa molt perquè en ve de tot arreu, i pe això s'ha arribat a refrigerar els tubs dels telesopis. En canvi, no cal que la geometria del mirall sigui tant perfecta, ja que la longitud d'ona és major que la de la llum visible.

El 1870, James Clerk Maxwell (matemàtic escocès, 1831-1879) va elaborar una teoria completa de l'electricitat i el magnetisme, segons la qual l'espectre electromagnètic és enormement ampli, i del qual una petita part és la llum visible.

El 1888 Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894) va provar les teories de Maxwell, ja que va aconseguir, produir, detectar i estudiar radiacions de gran longitud d'ona, que van ser anomenades "ones hertzianes" i més tard ones de ràdio.

El 1895 Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) va descobrir una radiació que, per ser desconeguda, va anomenar raigs X. El 1912, Max Theodor von Laue (1879-1960) va demostrar que aquella radiació també era electromagnètica però d'una longitud d'ona molt menor que la de la radiació ultravioleta.

El 1896, Antoine Henri Becquerel (físic francès, 1852-1908) va descobrir la radioactivitat de l'urani. El 1900, Paul Ulrich Villard (físic francès, 1860-1934) va anunciar que també podia ser una radiació electromagnètica. Rutherford la va anomenar raigs γ . La seva longitud d'ona encara és menor que la dels raigs X.

El 1905, Einstein va demostrar que aquestes radiacions eren emeses en paquets que en algunes circumstàncies podien actuar com a partícules, i se'n va dir "fotons". Max Karl Ernst Ludwig Planck (físic alemany, 1858-1947) va elaborar una teoria segons la qual l'energia dels fotons era proporcional a la seva freqüència i, per tant, inversament proporcional a la longitud d'ona.

De tot això ja es podia deduir que era absurd limitar-se a observar només els objectes que emetien radiació en la zona de l'espectre visible, però va costar bastant aconseguir-ho.

En realitat es considera que la radioastronomia neix el 1932, quan Karl Jansky (enginyer radiotècnic EUA, 1905-1950), des de New Jersey investigava la causa d'un soroll de fons que perturbava les emissions de ràdio. Tot buscant amb un sistema d'antena orientable va trobar que les majors intensitats detectades provenien de certs punts fixos del cel, especialment d'allà on s'havia assenyalat el centre de la galàxia. Els astrònoms però, no s'hi van fixar gaire, només Fred Lawrence Whipple ho va examinar seriosament. Un altre enginyer radiotècnic i astrònom aficionat, Grote Reber, es va sentir interessat el tema i va construir un receptor millor, concentrant les ones sobre l'antena mitjançant un plat parabòlic de 9 m, a Wheaton, Illinois. Així com ja s'ha dit que la precisió en les dimensions del plat no eren molt importants, en canvi empitjora en igual proporció la capacitat de resolució o de separació de dues fonts diferents i pròximes. El plat de Reber no separava més enllà de 12°. Va començar a treballar el 1938 i va fer el primer "mapa de ràdio" del cel per a una longitud d'ona de 190 cm.

Durant la 2ª guerra mundial el progrés en la radioastronomia va quedar aturat, però en canvi es va desenvolupar el radar (Radio Detecting And Ranging), que treballava en la zona de les microones, situades entre l'infraroig i les ones de ràdio = ones de ràdio ultracurtes. Aquestes ones s'obtenien amb un aparell anomenat magnetró. La millora dels aparells de detecció va dur conseqüentment a la detecció d'ones de l'exterior. P. ex. unes interferències en els radars britànics el febrer 1942, van dur a J. Stanley Hey a detectar microones procedents del Sol. Igualment ho va trobar el juny George Clark Southworth (físic EUA). Aquests dos ho van mantenir en secret per raons militars, però no així Grote Reber, que ho va

publicar. Hey va trobar, de més a més, que les microones detectaven l'estela d'ions deixada a l'atmosfera pels meteorits.

El 1946, Zoltan Lajos Bay (físic hongarès) va enviar un feix de microones a la Lluna i en va detectar el rebot. El Cos de Senyals de l'exercit dels EUA va fer el mateix. Segons el temps de resposta es pot calcular la distància i setons la variació de freqüència es pot saber si el punt de rebot s'acosta o s'allunya = la velocitat de rotació. Segons la dispersió del feix retornat es pot avaluar la rugositat de la superfície impactada. Això va ser molt important en l'estudi dels planetes.

El 1959, von Rossell Eshleman (astrònom EUA), de la Universitat de Stanford, va captar ecos de microones enviades al Sol. El 1961, equips dels EUA, britànics i de l'URSS van aconseguir ecos de microones sobre Venus. D'aquesta manera es va revisar amb gran precisió la seva distància i, per tant, les dimensions del Sistema Solar. el 1962, Richard M. Goldstein i Roland L. Carpenter van mesurar la rotació d'aquest planeta, fins aleshores desconeguda. Van trobar que el seu període de rotació era de 243,1 dies, major que el seu any, i que era retrògrada. També a partir de 1965 es va començar a confeccionar mapes sobre el seu relleu i les seves cadenes de muntanyes.

Respecte a Mercuri, el juny de 1962, uns científics soviètics van detectar un eco de microones, i el 1965 Gordon H. Pettengill i Rolf B. Dyce, des d'Arecibo, a Puerto Rico, van poder calcular el seu període de rotació. Tot i no tenir núvols com Venus era molt difícil d'observar. El 1889, Schiaparelli va avaluar que tenia un període de rotació de 88 dies, però el 1965 es va establir que era de quasi 59.

També s'ha obtingut ecos de radar de Mart, de Júpiter, d'alguns asteroides i fins i tot de Saturn. S'ha observat que els anells de Saturn reflecteixen les microones molt bé.

A part tots aquests experiments amb microones, hom va anar per construir aparells que captessin bé les ones procedents de l'espai. el 1951, Alfred Charles Bernard Lowell (astrònom anglès) va ser el primer professor de radioastronomia de la Universitat de Manchester i va supervisar la construcció d'un plat de 70 m Ø a Jodrell Bank, a 25 km de la ciutat. Es va acabar el 1957 i va ser el primer gran radiotelescopi. el 1971 va ser restaurat. El mateix any es va construir un plat totalment mòbil, de 100 m Ø a Effelsberg, a 80 km de Bonn. A Parkes, Austràlia, n'hi ha un de 64 m. Aquests plats concentren el senyal en una antena situada en el seu focus.

El plat més gran existent és el ja mencionat d'Arecibo, Puerto Rico, de 305 m Ø i 73.000 m² de superfície. Es va posar en funcionament el nov 63 i era format per una tela metàl·lica que podia detectar ones de 50 cm. De 1972 a 1974 es va recobrir amb plaques foradades d'alumini i ara pot captar ones de 7 cm. Està situat en el fons d'una vall i, per tant, no és orientable, però el receptor està penjat a sobre, de manera que es pot moure i captar senyals apartats 20° del zenit. De més a més, seguint la rotació de la Terra, el plat d'Arecibo escombra el cel i, entre un moment o altre pot arribar a enfocar un 40 % de la superfície total del cel.

A l'observatori de Green Bank, Virgínia, hi ha un plat de 91 m Ø que pot girar de nord a sud, i per tant pot envocar qualsevol objecte en el moment de passar pel meridià (*aquest plat ja es va col·lapsar fa anys, però ja n'hi han fet un de nou*)

També hi pot haver receptors del tipus antena, com l'original de Jansky, p. ex. a Austràlia hi ha la "creu de Mills", construïda per B. Mills, que consta de 600 antenes posades en 2 braços perpendiculars de 450 m. de llargada. Aquesta disposició és molt més barata que la d'un plat i té el poder separador corresponent a la llargada del braç, però no té l'efecte de concentració del senyal i no pot captar senyals molt dèbils. No és orientable i només capta la longitud d'ona específica del seu disseny.

Hi ha uns creus de Mills més grans a Molonglo, Austràlia (braços de 1.600 m) i a Chuguyev, a prop de Jàrkov, Ucraïna (braços de 3.000 m).

Per augmentar el poder separador es va recórrer a combinacions de radiotelescopis separats que fan servir les tècniques interferomètriques de Michelson, p. ex. el 1964, a Owen Walley, Califòrnia, es va posar en marxa 2 plats bessons, que amb uns rails es poden separar fins a 150 m. A New Mexico s'ha instal·lat el 1981 27 plats de 26 m (Very Large Array) en una disposició en forma d'Y, sobre una superfície de 42 km Ø. Estan units tots electrònicament i també són mòbils.

Això ha donat lloc a la interferometria de llarga línia de base, combinant radiotelescopis situats en llocs molt separats, tant com ho permetin les dimensions de la Terra. Es va començar per 100 km i ara ja s'està en els milers. Amb ones de 3,5 cm s'ha aconseguit resolucions de 0,0003", millors que les de qualsevol telescopi òptic.

LES RADIOFONTS

Tots els objectes, pel sol fet d'estar a una temperatura més alta que el zero absolut, radien fotons de totes les longituds d'ona. L'energia mitjana dels fotons i la seva freqüència augmenten amb la temperatura, i la longitud d'ona de la intensitat màxima de radiació disminueix.

Robert Henry Dicke (físic EUA) ja va detectar la radiació tèrmica de la Lluna el 1946. El 2 de maig 1956, el Laboratori d'Investigació Naval de Washington va detectar microones de Venus corresponents a una temperatura superficial $> 100^{\circ}\text{C}$.

El 1955, Kenneth Linn Franklin i Bernard R. Burke, amb una creu de Mills van detectar microones procedents de Júpiter.

Deu anys abans però, Hey va emprendre el treball de fer un nou mapa de ràdio del cel i va detectar una gran font de radiació al Cigne = Cygnus A, que no corresponia a cap objecte òpticament visible. el 1948, John G. Bolton i GJ. Stanley, amb tècniques interferomètriques, van situar Cygnus A en una zona de 8' de Ø. Va ser la primera localització d'una radiofont o radioestrella. el 1950, Martin Ryle i altres astrònoms de Cambridge, Anglaterra, ja n'havien localitzades un centenar. Es va identificar la radiofont Taurus A amb la nebulosa del Cranc, procedent de l'explosió de la supernova de 1055. A finals dels anys 50 ja se n'havia trobades 450 i ara estan enregistrades a milers, i estan uniformement repartides en totes direccions. El 1951, FG. Smith (astrònom britànic) va situar Cygnus A en una zona de només 1' i Baade, amb el reflector Hale hi va trobar 2 galàxies que topaven o que penetraven una dintre l'altra. Cygnus A era doncs una radiogalàxia. El 1961, unes 100 radiofons ja havien estat identificades com a galàxies.

El 1961, Clarence Roger Lynds investigava la radiofont 3C231 i la va identificar amb la galàxia M82. Allen Sandage la va fotograriar amb el reflector Hale i va veure que aquesta galàxia estava en explosió i que hi havia corrents d'H de 1.000 anys llum que sortien del seu nucli.

També hi havia radiofons que semblaven objectes petits, p. ex. Sandage estudiava la radiofont 3C48 i la va indentificar amb una estrella ordinària de 16^a magnitud, que hom suposava de la Via Làctea, però hi van veure com una petita nebulositat al voltant. El 1962, Cyril Hazard (australià) observava 3C272 i per ocultació per la Lluna va determinar que eren 2 fons de 10" separades 19". En tal lloc hi havia una estrella de 13^a magnitud i també una certa nebulositat. Se'n va trobar d'altres i totes tenien uns espectres amb unes ratlles no identificades. El 1963, Maarten Schmidt (holandès-EUA) va proposar que aquelles línies corresponien a l'H però enormement desplaçades cap al vermell, de tal manera que indicaven una velocitat d'allunyament enorme, de 40.000 km/s. Admetent aquest elevat valor, totes les línies de l'espectre ja concordaven amb línies ja conegudes. El 1964, Hong Yee Chin, físic de Princeton, va dir que en lloc de dir-ne estrelles, fóra millor dir-ne fons quasi estel-lars = QUAsi Stellar Sources, expressió que va ser abreujada a quàsars. El 3C273 estava a 1.000 M d'anys llum i el 1971 se'n va trobar un, OH471, que estava a 12.000 M d'anys llum.

El 1944, Hendrick Christoffel van de Hulst (holandès) va calcular teòricament que l'H neutre i fred podia absorbir i emetre microones de 21 cm a causa de dos estats d'energia corresponents a diferents alineaments del camp magnètic entre el seu protó i el seu electró. el 1951, Fèlix Bloch (suís-EUA) i Edward Mills Purcell (EUA) les van localitzar i, gràcies a això, es va poder fer mapes de situació de l'H freq a la galàxia, i van determinar que estaven situades en espirals.

Aquest procediment es va estendre a diferents àtoms i agrupaments d'àtoms que podien emetre o absorbir longituds d'ona específiques en la regió de les microones, fenomen similar al de les ratlles espectrals observades en la banda òptica. A base d'aquest mètode, el 1963 es va poder detectar combinacions de CH, CN i OH, i el 1968 d'H₂O i NH₃, i el 1962 de COH₂ (formaldehid), etc. Es pot qualificar aquesta recerca amb el nom d'astroquímica.

Es va observar també que hi havia radiofonts que oscil·laven regularment en intensitat. Anthony Hewish (anglès) va situar 2.048 atenes en 18.000 m², de manera que podien detectar fluctuacions ràpides en longituds d'ona de l'ordre d'1 m. El jul 1967 es va detectar raigs de microones d'1/2 s de durada, amb gran regularitat cada 1,32720109 s. Se'n va dir estrella pulsant = PULSating stAR = Púlsar. Els 2/3 dels púlsars trobats estan en la faixa de la Via Làctea = són de la nostra galàxia. Els seus períodes van de 3,7 s fins a 0,033089 s.

Arran d'estudis teòrics, el 1939, de Baade i Friz Zwicky (suís, 1898-1974), i després de J. Robert Oppenheimer (físic EUA, 1904-1967), es considera que un púlsar és una estrella de neutrons = tota la matèria del Sol concentrada en una bola de 15 km Ø = de gravetat tan intensa que els protons i neutrons estan tots en contacte formant neutrons. És un objecte resulta final de l'evolució estel·lar, encara més dens que una nana blanca. En virtut del principi de conservació del moment cinètic, gira a molta gran velocitat, i a causa de la seva gravetat, els electrons i les microones només es poden escapar pels seus pols magnètics. Aquests corrents demblen raigs de llum emesos per un far que escombren el cel, i periòdicament "il·luminen" la Terra, si la troben en la seva trajectòria. Thomas Gold va determinar que un púlsar havia de disminuir el seu període a causa de la pèrdua d'energia per rotació. Això es va comprovar amb el de la nebulosa del Cranc, que augmenta en 0,0000133 seg/any. Aquest púlsar, finalment va poder ser vist òpticament el gener de 1969.

OBSERVACIÓ FORA DE LA TERRA

A causa de l'absorció de la radiació per l'atmosfera, els astrònoms van intentar escapar-se'n. Tot i així, els observatoris més levats tenien a sobre encara el 60 % de l'atmosfera. Els primers intents van ser de fer observacions des de globus. Auguste Picard (físic suís, 1884-1962) va fer un globus amb He i cabina pressuritzada d'Al, i el 1931 va pujar fins a 16.000 m. Entre 1970 i 1980 es va arribar a 40 km = sobre el 99,9 % de l'atmosfera. A l'estratosfera no hi ha vapor d'H₂O i es pot obtenir tot l'espectre infraroig, des del visible fins a les ones de ràdio. D'aquesta manera, John Donovan Strong, el 28 oct 1964, des de 26.000 m va detectar vapor d'H₂O en els núvols de Venus. Martin Schwarzschild (germano-americà) va detectar vapor d'aigua a Mart. També en els espectres infrarojos de les gegants roges s'hi va trobar molècules d'H₂O.

El set 1957 es va treure unes bones fotos del Sol, a 25 km d'altura, amb un telescopi de 30 cm Ø i 2,5 m, abase de moure contínuament la pel·lícula i aprofitar el 5 % de fotos que quedaven ben enfocades. D'aquesta manera s'obviava el problema de les deformacions del mirall. El març 1970, un telescopi de 91 cm Ø va treure unes fotos excel·lents d'Urà.

Amb globus ja no es podia fer gran cosa més, ja que l'ultravioleta i les ones llargues de ràdio encara no passaven. Calia sortir a l'espai exterior mitjançant coets portadors d'instruments. Els coets van ser inventats pels xinesos, però estudiats i perfeccionats en la seva versió moderna per Konstantin Eduardovix Tsiolkowsky (físic rus, 1857-1933) i per Robert Hutchings Goddard (físic EUA, 1882-1945). A Alemanya hi van treballar Willy Ley (1906-1969) i Werhner von Braun (1912-1977). Un coet V2 capturat va assolir 184 km d'altura en un projecte dirigit pel físic EUA James Alfred van Allen. El 1964, afegint-hi un 2ⁿ coet que es disparava quan el primer ja estava enlairat, va assolir 385 km. Aquests coets duïen instruments i van permetre fer les primeres observacions.

Des del 1964 es va estudiar l'espectre solar des d'una V2 a 890 km d'altura i posteriorment s'ha fotografiat fins a la regió dels raigs X. També es va detectar raigs X procedents de la corona solar. El 1956 es va detectar radiacions ultravioleta que procedien de l'estrella Spica.

A partir de 1950 ja es projectava el llançament de satèl·lits artificials, cosa factible a partir de velocitats de sortida d'un coet superiors a 8 km/s.

L'URSS va llançar l'Sputnik I el 4 oct 1957 i el 3 nov l'Sputnik II amb un gos viu. Els EUA van llançar l'Explorer I el 3 gen 1958. Tenia una òrbita molt excèntrica i anava de 350 km fins a 1.860. Podia mesurar els raigs còsmics i altres radiacions. L'Explorer III es va llançar el 26 mar 1958 i l'sputnik III el 15 mai 1958. L'Explorer IV, llançat el 26 jul 1958, va arribar a 2.200 km i va detectar una intensitat de

radiació molt superior a la prevista, localitzada en uns cinturons de partícules carregades elèctricament procedents del vent solar i els raigs còsmics = cinturons de van Allen, o magnetosfera.

A partir d'aquí ja es van llançar sondes destinades a fugir de la Terra. El 2 gen 1958, l'URSS va llançar el Luna I, que va passar a 6.000 km de la Lluna. El 12 set 1959 es va llançar el Luna II, que va topar amb la Lluna al cap de 3 dies. Aquestes 2 sondes van demostrar que la Lluna no tenia magnetosfera ni camp magnètic. El 4 oct 1959 es va llançar el Luna III, que va prendre les primeres fotos de darrera la Lluna.

El 31 mar 1966 es va llançar el Luna X, que va entrar en òrbita al voltant de la Lluna, i el 10 ago del mateix any, els EUA van llançar el Lunar Orbiter, que també es va dedicar a fer mapes de la Lluna.

Altres sondes es van dedicar a allunitzar i a estudiar la composició química de la Lluna. Van ser el Luna IX, llançada el 3 gen 1966 i el Surveyor I, dels EUA, el 30 mai 1966.

El Mariner II, llançat el 27 ago 1962, va arribar a Venus 109 dies més tard, el 14 des, després de recórrer 290 km, i va passar a 34.000 km del planeta. Venus tampoc no tenia magnetosfera. Per la radiació de microones es va confirmar que la seva temperatura superficial era de 450°. Sondes soviètiques a Venus des de 1967 hi van detectar una atmosfera de CO₂ a 90 atmosferes de pressió.

El 28 nov 1964 va sortir el Mariner IV cap a Mart, i el 14 jul 1965 va passar a 10.000 km de la seva superfície. El 28 jul i el 5 ago 1968 els Mariner VI i VII van passar-hi a 3.500 km i van destruir definitivament la història dels canals. El nov 1971, el Mariner IX va entrar en òrbita de Mart, entre 1.650 i 17.000 km., per fer el mapa de la seva superfície. Va estudiar el Molt Olimp, el Valle Marineris i també Fobos i Deimos.

El 29 mar 1974, el Mariner X va passar a 35.000 km de Mercuri, va fotografiar els seus cràters i hi va detectar un dèbil camp magnètic.

El 3 des 1973, el Pioneer X va passar a 135.000 km dels núvols de Júpiter i va fer medicions de la seva magnetosfera enorme (des de la Terra es veia d'un Ø al de la Lluna). Un any més tard, el Pioneer XI va acostar-se a Júpiter a 1/3 de distància del precedent i va prosseguir cap a Saturn. Aquestes sondes van fotografiar els satèl·lits de Júpiter i van descobrir els volcans d'Io. Anys a venir sortiran de l'àmbit del Sistema Solar.

El 7 mar 1962 es va llançar l'OSO (Orbity solar Observatori), 77 dies de funcionament = 1.000 h. de dades sobre la radiació solar.

El 18 oct 1967, OSO 4. 115 kg instruments. Òrbita circular a 550 km. Espectroheliògraf UVioleta i detectors de raigs X.

El 27 set 1971, OSO 7. Portava un coronògraf.

El dbre 1968, OAO 2. Orbity Astronomical Observatory. Duia 11 telescopis amb miralls de 20 a 40 cm. Òrbita a 770 km. Observació radiació UV de 50.000 estrelles.

El 27 abr 1961. Explorer 11. Detecció de fotons de raigs X.

Bruno Rossi (físic italià) intentava recollir raigs X reflectits per la Lluna. El 18 jun 1962, amb un coet en va detectar de procedents del centre galàctic.

Herbert Friedman (EUA) també enviava coets per explorar fonts de raigs X. El 12 des 1970, l'Explorer 42 "Uhuru", llançat des de Kènia, durant 3 anys va localitzar més de 100 fonts de raigs X.

Com són aquestes fonts? Hi ha diferents graus d'objectes compactes:

- Nana blanca: la gravetat en trenca l'estructura dels àtoms.
- Púlsar: Totes les partícules subatòmiques es converteixen en neutrons en contacte.
- Forat negre: La gravetat també trenca els neutrons. El seu diàmetre tendeix a 0 i la densitat a infinit. No se'n pot escapar res material, ni els fotons. Només absorbeix matèria i la seva massa creix. La matèria atreta d'una estrella, abans de caure en el forat negre, emet raigs X. Un cas probable és Cyg-1, que consta d'una estrella massiva que gira al voltant de la font de raigs X, encara més massiva.

L'HOME A L'ESPAI

12 abr 1961: Yuri Alexeivtx Gagarin (rus). Primer astronauta. Vostok 1. Vol d'1 òrbita en 108 minuts.

20 feb 1962: John H. Glenn (EUA). Primer astronauta nord-americà. 3 òrbites.

Mai 1963: L. Gordon Cooper (EUA). 22,5 òrbites en 35 hores.

Jun 1963. Valery Bykovsky (rus). 81 òrbites en 119 hores. En la mateixa època també va volar la primera dona, Valentina Tereshkova.

Oct 1964. Voshkod 1. Primer llançament amb 3 astronautes.

15 mar 1965. Voshkod 2, amb 2 astronautes. Alexei Leonov va sortir a fora = el primer passeig espacial.

1965. Naus Gemini (EUA), que eren maniobrables.

Jun 1965. Gèmini 4. Edward White, primer astronauta EUA que va sortir a fora de la nau 22 minuts.

21 ago 1965. Gemini 5. L. Gordon Cooper i Charles Conrad (aquest va ser el primer astronauta que va volar 2 vegades).

4 des 1965. Gemini 7. Va fer 220 òrbites en 2 setmanes.

16 mar 1966. Gemini 8. Neil Armstrong i David R. Scott van fer el primer acoblament amb una altra nau.

11 oct 1968. Apollo 7.

21 des 1968. Apollo 8. Vola al voltant de la Lluna.

21 mai 1969. Apollo 10. Fa el mateix i el mòdul lunar assoleix una aproximació de 15 km.

16 jul 1969. Apollo 11. Neix Armstrong, Edwin E. Aldrin i Michael Collins. El dia 20, els dos primers van baixar a la Lluna per primer cop.

Es va fer 5 viatges més a la Lluna, Apòllo 12, 14, 15 16 i 17. En total hi van anar 12 astronautes. L'Apollo 13 va haver de retornar per accident.

ELS DARRERS TELESCOPIS

MMT. Multiple Mirror Telescope, del Smithsonian Astrophysical Observatory i la Universitat d'Arizona. Té 6 miralls d'1,83 m Ø que superposen les imatges. Efecte de recol·lecció de llum equivalent a un mirall de 4,5 m. Poder separador equivalent a un mirall de 6 m. Instal·lat a Mt. Hopkins, Tucson, Arizona. Funcionament previst per a 1976.

De mai 1973 a feb 1974 s'ha manejat telescopis des del Skylab, durant tandes d'1, 2 i 3 mesos. Es va observar la corona solar i el cometa Kohoutek.

Es projecta el Gran Telescopi Espacial, que ha d'orbitar a uns 650/1.000 km. Podrà enregistrar objectes de 29^a magnitud.