

EL TELESCOPIO... UN OJO MÁGICO

CÉSAR ARTEAGA MAGAÑA



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

EL TELESCOPIO... UN OJO MÁGICO

CÉSAR ARTEAGA MAGAÑA



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP

Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

Miguel Barbosa Huerta

GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE PUEBLA

María del Rosario Orozco Caballero

PRESIDENTA DEL SISTEMA ESTATAL PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL DE LA FAMILIA

Ana Lucia Hill Mayoral

SECRETARIA DE GOBERNACIÓN DEL ESTADO DE PUEBLA

Melitón Lozano Pérez

SECRETARIO DE EDUCACIÓN DEL ESTADO DE PUEBLA

Sergio Salomón Céspedes Peregrina

PRESIDENTE DE LA JUNTA DE GOBIERNO Y COORDINACIÓN POLÍTICA
H. CONGRESO DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE PUEBLA

Héctor Sánchez Sánchez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL SUPERIOR DE JUSTICIA DEL ESTADO DE PUEBLA

Victoriano Gabriel Covarrubias Salvatori

DIRECTOR GENERAL DEL CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE PUEBLA

Maricruz Vázquez Bañuelos

RESPONSABLE DEL ÁREA DE PUBLICACIONES

Georgilett Pérez Bedwell

RESPONSABLE DEL ÁREA DE PUBLICACIONES

Luis Gerardo Aguirre Rodríguez

DISEÑO DE PORTADA

Karla Rodríguez Rosas

DISEÑADORA EDITORIAL

Eduardo Jáuregui Sainz de Rozas

REVISOR DE ESTILO

Eva Angélica García Treviño

REVISORA DE ESTILO

México, 2022.

ISBN: 978-607-8839-18-6

Consejo de Ciencia y Tecnología del
Estado de Puebla (CONCYTEP) Privada B
Poniente de la 16 de Septiembre. 4511,
Col. Huexotitla, 72534. Puebla, Pue.

La información contenida en este documento
puede ser reproducida total o parcialmente
por cualquier medio, indicando los créditos
y las fuentes de origen respectivas. Las
opiniones expresadas en ésta reflejan el
punto de vista de los investigadores y no los
de la institución.

CONTENIDO

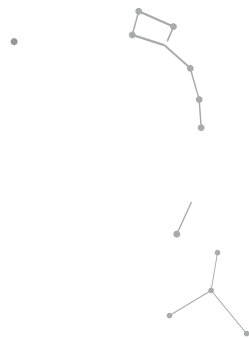
PRÓLOGO	1
CAPÍTULO 1.....	4
El inicio y los principios	4
Thycho	44
Kepler	45
CAPÍTULO 2.....	51
Las aberraciones	51
Aberración de esfericidad	55
Aberración de coma	58
Aberración de astigmatismo	59
Curvatura de campo	60
Distorsión	61
Cromática	62
CAPÍTULO 3 de Newton	65
CAPÍTULO 4.....	83
Creciendo en los cielos	83
CAPÍTULO 5.....	125
Telescopios, instrumentos y descubrimientos	125
La fotografía	156
Fotografía con luz infrarroja y ultravioleta	162
El Fotómetro y cómo mide la distancia a las galaxias	165

CAPÍTULO 6	177
El Radiotelescopio y los Nuevos	177
Detectores	177
Un ojo todavía más mágico que ve lo invisible	177
Radiotelescopios y sus usos	185
Lo nunca antes visto:	187
CAPÍTULO 7	189
Descubriendo lo más lejano. O eso creemos	189
Quasares (Quasi Stellar Radio Source o quasi Stellar objects)	189
La edad del Universo (lo verdaderamente viejo)	195
Púlsares	200
Exo planetas y planetas orbitando pulsares	206
El cíclope ya tiene 2 ojos mágicos y detecta planetas externos	209
La materia y la energía oscura... lo todavía invisible ..	214
CAPÍTULO 8	217
México la Astronomía y la tecnología	217
Nuestro País está en el centro	217
CAPÍTULO 9	225
Actualizando una historia sin fin	225
Epílogo	236
Referencias	237
Ilustraciones	237
Agradecimientos	239

A mi esposa Guadalupe Rivera Loy. A mis hijas: Claudia, Ma. Elena †,
Ingrid y Linda que son las estrellas de mi propia galaxia.



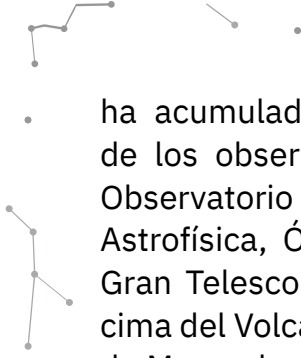
PRÓ LO GO



Desde su invención en el siglo XVII, el telescopio ha derribado las fronteras de nuestro planeta y se ha adentrado en los confines del Universo. El presente libro es un recorrido por la fascinante historia de uno de los instrumentos científicos más importantes de la humanidad. El título de este libro, *El Telescopio: un ojo mágico*, incluye la palabra mágico en un sentido figurativo y para llamar más la atención de los lectores, no en el sentido de la magia misma, sino como antagonista de la ciencia pura.

La obra, dividida en nueve capítulos, tiene como objetivo dar a conocer la historia, el desarrollo y el funcionamiento de todos los tipos de telescopios, sus logros y aportaciones al conocimiento humano, sus consecuencias tecnológicas y prácticas y, sobre todo, busca motivar a los jóvenes estudiantes a decantarse por el estudio de las Ciencias Físicas, Ingenierías, Astronomía, presentándoles un panorama de las ventajas y oportunidades que esto implica así como las satisfacciones profesionales que pueden obtener al dedicarse a la ciencia e ingeniería.

Quizá la característica más llamativa de la obra que el lector tiene en sus manos es que el autor, escribe desde la experiencia que

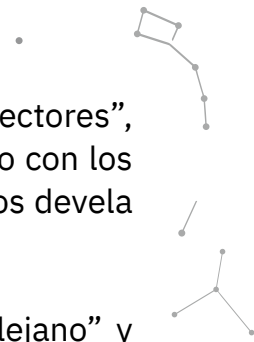


- ha acumulado a lo largo de varios años trabajando en algunos de los observatorios más importantes de nuestro país, como el Observatorio Astrofísico Guillermo Haro del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en Cananea, Sonora, el Gran Telescopio Milimétrico, operado por el INAOE ubicado en la cima del Volcán Sierra Negra en el estado de Puebla y la Universidad de Massachusetts Amherst. Esta experiencia se enriquece con referencias bibliográficas.

En el primer capítulo, “El inicio y los principios”, se narra la invención y desarrollo del telescopio, desde las lentes de Lipershey, el catalejo Galileo, el refractor de Kepler y el reflector de Newton hasta las leyes de Kepler. El capítulo 2, explica “Las aberraciones”, las propiedades ópticas y geométricas necesarias para un buen telescopio, y las dificultades para fabricar los elementos.

El capítulo 3 está dedicado a la historia de las aportaciones de Isaac Newton al telescopio y a la ciencia óptica, aborda la teoría de la luz y el descubrimiento de su descomposición en colores espectrales, mientras que el cuarto capítulo narra los desarrollos tecnológicos para mejorar las monturas de los telescopios, mejorar las observaciones y establecer los sistemas de coordenadas celestes que permitieron tener una navegación marítima más segura y el desarrollo de la relojería, además del desarrollo de nuevos diseños ópticos para telescopios.

Por otra parte, el capítulo 5 explica cómo la luz captada por los telescopios nos trae la información del cosmos, desde la simple fotografía hasta los desarrollos más modernos y nos permite conocer sus secretos, y el desarrollo de instrumentos para la astronomía. Nos lleva además a la aparición de la física moderna, la relatividad y la cuántica.

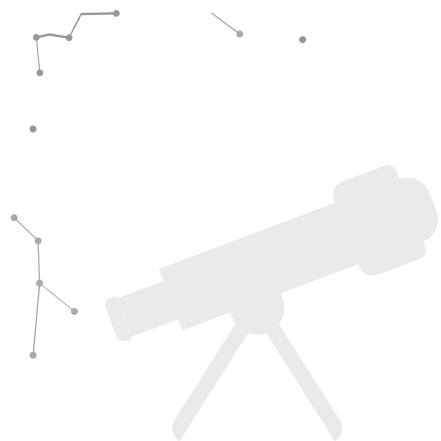


Asimismo, el sexto capítulo, “El radiotelescopio y sus detectores”, explica cómo el telescopio en su versión de radiotelescopio con los instrumentos adecuados, es capaz de ver “lo invisible” y nos devela los secretos más profundos del Universo.

El séptimo capítulo se denomina “Descubriendo lo más lejano” y cuenta cómo se descubrieron los objetos y fenómenos más lejanos del Universo, haciendo énfasis en el hecho de que los primeros cuásares nunca antes vistos fueron reportados precisamente en Tonantzintla, Puebla, por el equipo de observadores del entonces Observatorio Astrofísico Nacional de Tonantzintla, y cómo este descubrimiento puso al Estado de Puebla en el centro del internacional astrofísico mundial, ya que influyó en la estimación de la edad y tamaño del Universo.

El capítulo octavo será de especial interés para los lectores de nuestro país, ya que hace un breve recuento de la importancia de México y nuestro estado, Puebla, en el ámbito mundial de la Astronomía y la Astrofísica.

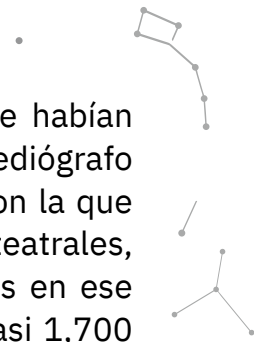
Finalmente, el capítulo 9 habla de lo más reciente en el desarrollo de telescopios y del futuro. En él se abordarán los temas del constante desarrollo tecnológico y de los más recientes descubrimientos astronómicos, incluyendo la toma de la primera foto de la sombra del agujero negro en el centro de la galaxia Messier 87, resultado del experimento internacional *Event Horizon Telescope*, del cual forma parte el Gran Telescopio Milimétrico y el reconocimiento mundial a la aportación de México, y en particular del GTM de Puebla a este gran logro que valió obtener el Premio Internacional Breakthrough de Física Fundamental.



CA PÍ TU LO 1

EL INICIO Y LOS PRINCIPIOS

La primera vez que un ojo humano se asomó por el ocular de un telescopio para ver el cielo fue un momento mágico. Más que mágico ese preciso momento fue, como siglos más tarde dijera el astronauta Neil Armstrong al pisar por primera vez la Luna, un paso gigante para la humanidad. El gran paso tenía que ser dado por un gran hombre: Galileo Galilei, quien construyó el primer telescopio del mundo con la intención de ver el firmamento y descubrir todo un universo nuevo de conocimientos. Galileo no se imaginaba que esa primera ojeada al cosmos iba a ser la piedra angular que lanzaría a la humanidad hasta las estrellas y más allá. El momento en que observó el cielo por primera vez con su telescopio, esto fue tan importante para la astronomía, como lo fue la brújula para la navegación, la rueda para la mecánica o el cero para las matemáticas. La Luna fue el primer objeto fuera de este planeta que se vio con un telescopio, la Luna fue también el primer lugar fuera de este mundo que el hombre visitó. Galileo tampoco pudo imaginar que siglos más tarde, gracias a su descubrimiento, un hombre como él pisaría la superficie de la Luna y proclamaría ese hecho como "un paso gigante para la humanidad". En realidad a un paso le sigue otro paso y el primer gran paso había



sido dado por Galileo Galilei. Algunos pasos pequeños se habían dado antes; en el año 424 a.C. Aristófanes, siendo un comediógrafo griego, tenía una esfera de vidrio soplado llena de agua con la que concentraba los rayos del Sol para efectos de escenografías teatrales, casi sin tener idea de los fenómenos ópticos involucrados en ese fenómeno, lo que despertaba la curiosidad de muchos. Casi 1,700 años pasaron hasta que el fraile inglés de la orden franciscana Roger Bacon pulió unas lentillas en forma de lenteja para ayudarse a leer y escribir. Bacon detalló su trabajo en un libro llamado *Opus Maius*, pero curiosamente estas lentillas no se montaron en un armazón para formar anteojos hasta cien años después. Los monjes dominicos Alexandro della Spinna y Salvino de Armati fueron los primeros en montar las lentes en armazones y los primeros humanos en usar anteojos. En 1589 Gianbatista della Porta describe algo que parece ser un telescopio en su libro *De Magiae Naturalis*. Aunque su trabajo no fue suficiente para descubrir la magia de ciencia óptica

El telescopio es el ojo mágico del hombre. ¡Qué limitados son nuestros sentidos para algunas cosas! Por ejemplo: no tenemos el olfato de los caninos, ni la vista del lince o del águila, nuestro oído está limitado en comparación con el de los perros o el de los insectos, por eso necesitamos aparatos como el telescopio que aumentan la capacidad de nuestros sentidos. De todos nuestros sentidos, probablemente el más apreciado sea la vista, a pesar de que sólo podemos ver una estrecha franja de todo el espectro de luz, a la que llamamos luz visible y que comprende desde el rojo hasta el violeta. Ésta es sólo una parte muy pequeña de la información que la naturaleza emite en forma de radiación electromagnética, y nuestros ojos sólo ven este segmento de toda la maravillosa información que llega con la luz, pero con sólo está limitada parte de la información y gracias a una maravillosa conexión entre el ojo y el cerebro, podemos disfrutar y observar la naturaleza, distinguir colores, distancias, volúmenes

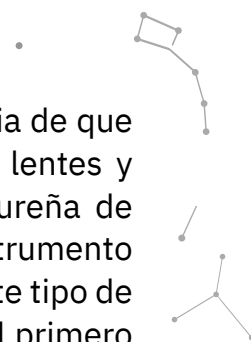


- y formas, podemos, por ejemplo, calcular casi inmediatamente el momento en el que queremos golpear con el bate una pelota de béisbol lanzada hacia nosotros a más de ciento cuarenta kilómetros por hora, y apenas con una mirada de reojo reconocemos a las personas y las cosas. Este ojo nuestro es maravilloso, pero todavía no es mágico, lo será hasta que se ayude de un telescopio para ver el universo y más allá. Hasta entonces será que nuestro simple ojo se magnifique, se sublime, se eleve al universo, y esto sucede en el momento en que lo ponemos detrás de un telescopio y descubre lo nunca antes visto, mucho de lo que ha permanecido oculto en el tiempo se revela entonces ante nuestros deficientes ojos y además el resto de nuestros sentidos despierta, nos maravillamos y nos obligamos a pensar, a razonar y a desear ver cada vez más y más lejos hasta el infinito, hasta deseamos ver esa parte del espectro no visible al ojo humano, o sea que también queremos ver en la oscuridad y en las diferentes longitudes de onda que no son visibles al ojo humano normal

El impacto de la observación con un telescopio nos impulsa y anima tanto que, entonces, queremos otro telescopio más grande y más potente, uno que no sólo vea en el rango de la luz visible sino en distintas longitudes de onda, ahora queremos ver lo invisible, queremos un telescopio de rayos X, uno de infrarrojo, de ultravioleta de radio... Y cada vez nos impresionamos más de lo que vemos, tal como lo hizo Galileo por primera vez en la historia de la humanidad cuando se asomó a ver lo nunca antes visto. El telescopio es en realidad, el ojo mágico de la humanidad.

Galileo Galilei abrió las puertas a nuestros deseos de ver más y más. Todo empezó a mediados de 1609 cuando Galileo tenía la cátedra de matemáticas en la Universidad de Padua, pero sus necesidades económicas lo obligaron a emprender el viaje a Venecia para solicitar





un aumento de sueldo. Fue ahí donde se enteró de la noticia de que un alemán nacionalizado holandés que era fabricante de lentes y residente en Middelburg, capital de Zeeland, provincia sureña de Holanda, llamado Johann Lippershey, había creado un instrumento para ver de lejos, al que llamaba catalejo. Es posible que este tipo de catalejos ya se hubiera usado antes, pero fue Lippershey el primero en solicitar la patente en 1608 y ponerlo a disposición de todos para uso general. Lippershey sufrió lo que muchos inventores han sufrido, pues la patente se le negó por cuestiones burocráticas, y por una controversia con Jacob Metius de Alkmaar, habitante del norte holandés quien alegó que Lippershey le había robado la idea. Este alegato resulta difícil de creer, ya que ellos vivían en los extremos norte y sur de Holanda, lo que para la época resultaba ser una enorme distancia. Más tarde en Middelburg un tercer contendiente: Zacarías Janssen, fabricante de anteojos, proclamó ser el verdadero inventor del catalejo. Y hasta existe la leyenda de que fueron los hijos pequeños de Lippershey quienes jugando con las lentes de su padre encontraron casualmente la forma de ver más de cerca los objetos lejanos, aunque esto no deja de ser una romántica leyenda. Posteriormente el gobierno holandés reconoció a Lippershey como el inventor del catalejo, le compró varios instrumentos para usos generales, más tarde un cráter de la Luna fue nombrado “Cráter de Lippershey” en su honor, y en la actualidad es reconocido como el creador de los diseños para el primer catalejo práctico.

Cuando el catalejo fue presentado al príncipe Mauricio de Nassau, la noticia se dispersó, fue entonces cuando Galileo se dio cuenta de la importancia del instrumento y de la posibilidad de usarlo para explorar el cielo. Galileo empleó parte de sus menguados recursos y obtuvo un catalejo de Lippershey, regresó a Padua con su tesoro entre las manos y comenzó a mejorarlo y adaptarlo para observar el cielo. Galileo aparentemente no sabía mucho de la ciencia óptica y



- es posible que haya empleado métodos empíricos para mejorar el instrumento holandés, sobre todo porque es muy probable que haya insistido en obtener una imagen recta de los objetos lejanos. Lo malo del diseño óptico del catalejo es que está basado en una lente objetivo convergente y una lente ocular divergente, que producían un campo de visión muy angosto. En el campo visual del primer telescopio que Galileo construyó, apenas se podía ver la cuarta parte del círculo Lunar. Hoy sabemos que los sistemas ópticos de mejor eficiencia producen campos más amplios aunque con imágenes invertidas con respecto al objeto observado, o sea que se ven de cabeza, sin embargo para la observación astronómica el tener la imagen invertida no tiene la menor importancia, ya que las estrellas y los planetas se pueden estudiar perfectamente sin importar si la imagen es recta o invertida. Como sea a pesar de que Galileo argumentó que hizo consideraciones teóricas al mejorar el catalejo, lo más seguro es que debió dedicar largas horas de trabajo y tiempo para convertir el catalejo terrestre en un telescopio de campo estrecho con sólo ocho aumentos para observar el cielo. En la actualidad cualquier catalejo barato de los usados para ir a la ópera, produce mejores imágenes que las que generaba el primer telescopio de Galileo.



Fig 1 Los rieles paralelos parecen juntarse a la distancia.



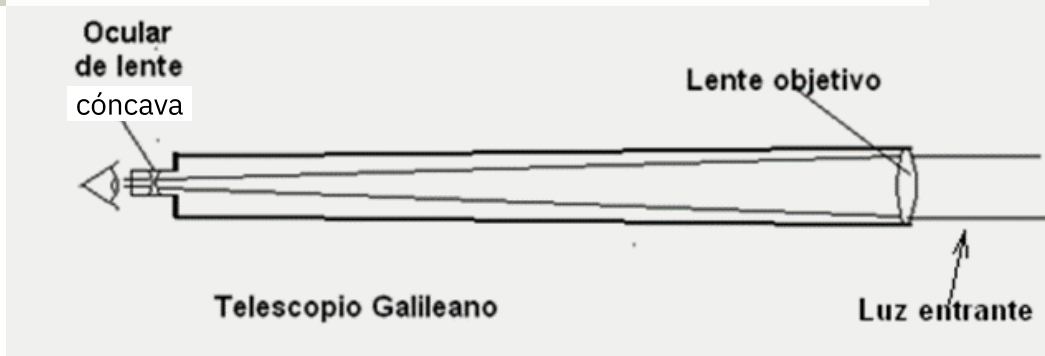
El telescopio de Galileo era muy simple; la óptica elemental explica el porqué: Los rayos de luz emitidos por un objeto lejano se pueden considerar como rayos paralelos, ya que las líneas paralelas se unen en el infinito, tal y como lo podemos apreciar cuando observamos una larga vía de tren en un tramo plano y recto, parece que ambos rieles tienden a juntarse al lo lejos, eso mismo sucede con dos rayos de luz que vienen de muy lejos, y se dice entonces que el objeto está en el infinito, aunque en realidad sólo está lejos para la capacidad de nuestros ojos. La primera lente de un telescopio de tipo galileano es una lente positiva, o convergente llamada objetivo, actúa como una lupa grande que recibe los rayos paralelos de la lejanía y los concentra en el foco de la lente, un ejemplo común de esto se ve cuando usamos una lupa para concentrar los rayos del Sol en un pequeño punto que



se llama foco, aunque en realidad se concentran en un pequeño círculo que está en un plano llamado plano focal, si se observa con cuidado se nota que en este plano lo que se ha formado es en realidad es una pequeña imagen del objeto observado, lo anterior se ve mucho mejor con la Luna llena que con el Sol, y hasta se puede ver de noche con una vela relativamente cercana, cuando lo hacemos con el Sol en esa pequeña imagen están concentrados todos los rayos recolectados por todo el área de la lupa y concentrados en esa pequeña imagen, de esa forma el pedazo de papel en el plano focal recibe los rayos concentrados por la lupa y podemos quemar el papel, ya que hemos concentrado todos los rayos recibidos por toda el área de la lupa, en un punto o al menos en un círculo mucho más pequeño. La primera lente llamada objetivo tiene un diámetro de entrada de luz relativamente mayor que el diámetro de salida de la segunda lente llamada ocular, a estos diámetros de entrada y salida en óptica se les llama respectivamente pupila de entrada y pupila de salida, el ocular actuando como una lupa concentra los rayos de la lejanía, pero antes de que se lleguen a concentrar en el foco, se coloca la segunda lente divergente o negativa, cuya característica es que al contrario de la lente convergente la divergente ahora abre los rayos de luz para volverlos a hacer paralelos, y los saca por la pupila de salida sólo que ahora concentrados en un diámetro mucho menor, y el ojo humano ahora puede verlos en un plano cercano lo que hace parecer como que la imagen estuvieran muy cerca. Las lentes divergentes por sí solas provocan que las cosas se vean más lejos de lo que están, pero colocadas de tal manera que puedan hacer que los rayos convergentes de la primera lente se abran para salir concentrados y paralelos nuevamente, se logra que el ojo puesto detrás del sistema vea que todos los rayos originalmente paralelos recibidos por la primera lente se vean ahora concentrados en un área más estrecha correspondiente a la pupila de salida de la lente divergente y el resultado es que parecerá que el ojo del observador capta tanta

cantidad de luz como lo hace el objetivo a través de su pupila de entrada y todo parece verse más cerca, es como hacer el ojo humano más grande, es como tener un ojo mágico.

Fig 2 Diagrama del catalejo de Galileo .



Formalmente la amplificación de este tipo de telescopios se expresa entre otras formas; como el cociente de la pupila de entrada y la pupila de salida, las pupilas están intrínsecamente relacionadas con las respectivas distancias focales de cada lente, la distancia focal de una lente es la longitud que hay desde la propia lente hasta el punto o plano en el que concentra los rayos al que llamamos foco, o plano focal, de tal manera que la amplificación de un telescopio de este tipo también se puede expresar como el cociente de las distancias focales. El sistema puede parecer demasiado elemental, pero salvo las refinaciones de la tecnología moderna este sistema de dos lentes; una positiva o convergente, y otra negativa o divergente, se sigue usando en la actualidad en los telefotos de las cámaras fotográficas modernas. Entre diciembre de 1609 y enero de 1610 Galileo comenzó a asomarse por primera vez al cielo con su telescopio. Bien se pudo haber reportado como un pequeño atisbo para el hombre, pero un gran alumbramiento para la humanidad. Lo primero que Galilei vio fue la Luna, comprobó que en la imagen se podía distinguir la tercera

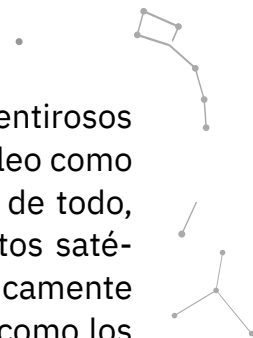


dimensión, es decir que no es un círculo plano sino una esfera, pero también vio que sobre la superficie de la Luna había extraños cráteres, así como lo que parecían ser valles y montañas, tal como los hay en la Tierra. Al observar la Luna en sus distintas fases, pudo ver claramente la sombra de las montañas Lunares proyectada sobre la irregular superficie de Selene, En la Biblioteca Nacional Central de Florencia, se conservan los primeros dibujos que Galileo hizo de la Luna, entre el 30 de noviembre y el 18 de diciembre de 1609, y se pueden distinguir claramente cómo la altura de las formaciones montañosas Lunares proyectan las sombras correspondientes en la línea que separa el día de la noche Lunar.

El concepto tradicional de Aristóteles de que los cuerpos celestes debían ser esferas perfectas se vino pesadamente abajo ante la brutal evidencia de ésta visión. El telescopio acababa de revelar su magia, se había convertido en el ojo mágico, y Galileo en el mago poseedor de las primeras verdades celestes de la ciencia

Más tarde el 7 de enero de 1610, apuntó su telescopio al planeta Júpiter y descubrió primero tres de los cuatro satélites que con precisión matemática giran a su alrededor, en un principio no se percató que eran satélites que giraban en torno a Júpiter, pero luego los observó detenidamente los dibujó y fue capaz de medir el periodo de sus órbitas, además pudo distinguir unos de los otros, hasta saber que en realidad eran cuatro de ellos.

Una historia muy extraña cuenta que los nombres de estos satélites no fueron asignados por Galileo como se creó popularmente, sino por Simón Marius quien en 1614 publicó un artículo donde afirmaba haber descubierto los satélites de Júpiter unos días antes que Galileo. Se desató una de las primeras batallas que Galileo tuvo que afrontar como consecuencia de su osadía de ver el cielo con el telescopio;



tanto Marius como Galileo se acusaron mutuamente de mentirosos y plagarios, sin embargo hoy en día se reconoce sólo a Galileo como el descubridor de los satélites de Júpiter, aunque a pesar de todo, los nombres: Io, Europa, Ganímedes y Calisto dados a estos satélites, son los que originalmente sugirió Marius. Paradójicamente estos cuatro satélites también se conocen genéricamente como los Satélites Galileanos o Jovianos.

El descubrimiento de satélites girando alrededor de otro cuerpo celeste que no era la propia Tierra, contradecía el principio de que la Tierra, y sólo la Tierra, era el centro del universo y de todos los movimientos celestes. Galileo tenía la verdad ante sus ojos, cada noche comprobaba la evidencia, dibujaba la posición de cada satélite y podía ver como en una película mental a esos cuatro pequeños cuerpos girar en torno del gran Júpiter otrora padre dios romano, o rey dios del Olimpo griego Zeus. Siendo Galileo un devoto católico sentía que la desnuda evidencia de sus observaciones aplastaba fuertemente su fe arraigada en el corazón.

Otro objeto espectacular en el oscuro cielo de la Padua del siglo 17 era por supuesto Venus. El brillante Venus, o tal vez en esa época, la brillante Venus diosa del amor, era por supuesto una enorme tentación, y una invitación a cometer el pecado de observarla con el telescopio. Tal como tenía que ser Galileo cayó en la tentación y a principios de 1610 sus observaciones de Venus revelaron algo aún más impresionante... ¡Venus presenta fases semejantes a las Lunares! Un sudor frío recorrió el cuerpo de Galileo observó y volvió a observar todos los días hasta que pudo constatar como las fases de Venus cambiaban lentamente de la misma manera que las de la Luna, y que el planeta nunca llegaba a verse totalmente iluminado por el Sol. Esto sólo podía explicarse de una forma: ¡Venus giraba alrededor del Sol en una órbita más cercana a la de la Tierra!

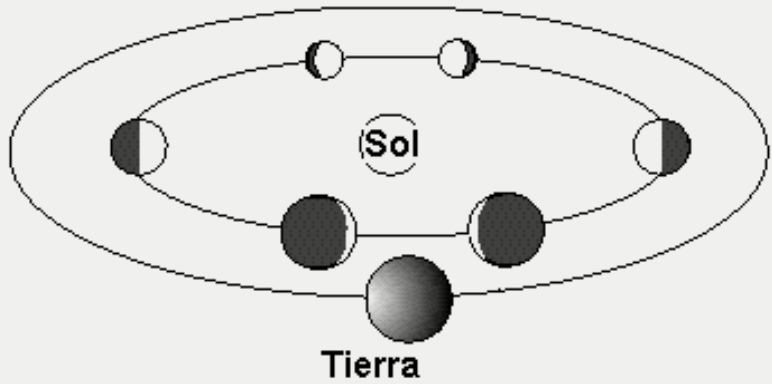
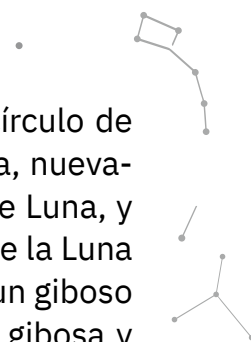


Fig. 3 Las fases de Venus.

Venus presenta fases parecidas a las de la Luna, dado que al girar en una órbita más cercana al Sol que la Tierra, nunca puede ser visto desde la Tierra como lo que llamaríamos un “Venus lleno” ya que para ver un planeta completamente iluminado por el Sol, éste tiene que estar más lejos del Sol de lo que está el observador en la Tierra, y tiene que estar situado de tal forma que la Tierra quede en medio entre el Sol y el planeta, entonces toda la superficie circular del planeta iluminada por el Sol se puede ver desde la Tierra que está en medio del Sol y el planeta, mientras que si la órbita del planeta esta siempre más cerca del Sol, nunca se verá toda la superficie del planeta iluminada por él. Sino que la parte iluminada sólo crecerá y disminuirá según su posición respecto al Sol y la Tierra. Para entender esto mejor, hay que pensar en cómo la gira Luna alrededor de la Tierra; hay días en que se coloca adelante es decir entre el Sol y la Tierra, y cuando lo hace exactamente frente al Sol se produce un eclipse de Sol, la Luna que recién ha pasado frente al Sol se llama Luna Llena y no se ve porque el enorme brillo de Sol la opaca, además porque entonces es de día, pero a veces cubre al Sol en forma total y otras veces en forma parcial dependiendo de la distancia al a que esté. y de da el eclipse, luego en su rotación alrededor de la Tierra llega el día en que se coloca atrás, es decir ahora la Tierra queda entre el Sol



y la Luna, entonces desde la Tierra se puede ver todo el círculo de la Luna iluminado por el Sol en lo que llamamos Luna Llena, nuevamente si esta alineación es exacta tendremos un eclipse de Luna, y es así como podemos ver que las fases de la Luna van desde la Luna nueva y creciendo, pasando por un cuarto creciente, luego un giboso hasta llegar a ser Luna llena y decreciendo otra vez como gibosa y cuarto menguante hasta ser Luna Nueva otra vez. Podríamos pensar que cada media vuelta de la Luna alrededor de la Tierra deberíamos tener un eclipse, de Sol, y a la siguiente media vuelta un eclipse de Luna, pero esto, lamentablemente, para los amantes de la observación celeste, no es así debido a que la Luna gira alrededor de la Tierra en un plano que está inclinado con relación al plano en el cual la Tierra gira alrededor del Sol, y sólo ocurren los eclipses cuando se da la feliz coincidencia de que el cruce de los planos de ambas órbitas, llamados nodos, coincide con la alineación adecuada de la Tierra, la Luna y el Sol.

En el caso de Venus como siempre está entre la Tierra y el Sol, nunca se ve completamente lleno, dado que para verlo lleno tendría que estar detrás del Sol o muy cerca del Sol, entonces, el enorme brillo del Sol lo opaca. Cuando se vieron las fases de Venus con la ayuda del telescopio la teoría geocéntrica de Ptolomeo que afirmaba que la Tierra era el centro de todo, se defendió como ya lo había hecho antes, primero estableciendo que Venus estaba siempre más cerca de la Tierra que el Sol, lo que es parcialmente correcto, luego continuó la defensa del geocentrismo con el mismo argumento usado al explicar el aparente movimiento retrógrado de los planetas; ésta defensa se basó en complicar más los presuntos movimientos de los planetas alrededor de la Tierra proponiendo nuevos movimientos propios de los planetas sobre ejes imaginarios llamados movimientos deferentes, que se efectuaban sobre complicadas órbitas, así se decía que Venus además de girar alrededor de la Tierra hacia unos



- complicados giros alrededor de su propia órbita con lo que trataba de explicar también las observación de fases Venusinas.



Si fuera cierto que Venus estuviera siempre más cerca del Sol que de la Tierra el hecho lo haría presentar Solamente fases crecientes, no obstante la órbita de Venus, aunque es interna y menor que la de la Tierra, lo lleva en ocasiones a estar muy separado de la Tierra y llega a estar más distante de la Tierra que lo está la Tierra del Sol, como cuando pasa por detrás del Sol, o cuando Venus está por ejemplo formando un ángulo recto entre él mismo, el Sol y la Tierra que es entonces que se observan efectivamente grandes fases gibosas, que son iluminaciones de Venus que desde la Tierra se ven como un Venus iluminado hasta más de la mitad del círculo del planeta, esto no sólo no lo puede explicar la teoría geocéntrica sino que demuestra que el sistema heliocéntrico es el verdadero. Ahora todos sabemos esto es así pero en aquella época resultaba muy desconcertante, nunca antes se habían observado las fases de Venus, y fue sólo hasta que el telescopio las reveló que se empezó a pensar seriamente en ellas y a tratar de explicarlas, el efecto de las fases era contundente ¡El sistema heliocéntrico de Copérnico era cierto! y las observaciones con el telescopio se lo habían revelado a Galileo, Cuando él lo entendió y reconoció, todo su cuerpo se debió estremecer. Para Galileo el fenómeno claramente observado de las fases de Venus era un golpe definitivo al sistema copernicano, sin embargo el astrónomo danés Tycho Brahe basado en años de observaciones había propuesto un sistema llamado *tychónico*, según el cual los planetas sí giraban alrededor del Sol, pero el Sol, junto con los planetas girando en su torno, se sometían a la supremacía terrestre al girar, todos juntos, alrededor de la estática Tierra. Galileo consideró la idea de Tycho mucho más absurda que la de Tolomeo y ni siquiera se molestó en refutarla, él estaba ahora en condiciones de

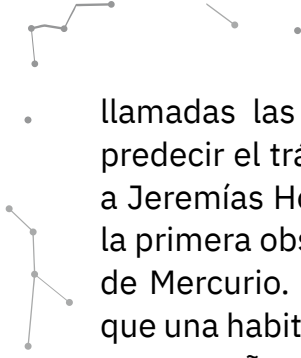


dar al mundo entero una explicación cierta para el fenómeno de las fases de Venus. Todo gracias al telescopio.



Otro fenómeno interesante sucede cuando Venus pasa enfrente del Sol, lo que se llama tránsito de Venus: Y aún más cuando pasa por detrás del Sol en lo que se llama una ocultación. Estos fenómenos ya no dejan ni la menor duda de que al menos Venus gira alrededor del Sol. Al pasar unas veces por delante, y otras por detrás del Sol la evidencia observada de su órbita alrededor del Sol es imposible de rebatir. Curiosamente Ptolomeo autor de la teoría geocéntrica sugirió que se observaran los tránsitos de Venus y de Mercurio. Pero... ¿cómo? Nadie puede ver directamente al Sol. Los tránsitos tanto de Venus como de Mercurio, no están en realidad reñidos con la teoría geocéntrica, pues aún pensando erróneamente que todo se mueve alrededor de la Tierra, ya se sabía que tanto Venus como Mercurio estaban más cerca que el Sol, por lo tanto debía haber un momento en el que pasaran frente a él, y sería factible observar ese fenómeno, Pero... ¿Cómo podrían Venus o Mercurio pasar por detrás del Sol? Con un telescopio Solar es posible ver el tránsito de Venus, se ve una sombra perfectamente circular cruzando el disco solar, en el transcurso de la observación se puede ver como la pequeña sombra de Venus se desplaza lentamente sobre el enorme círculo del Sol. Esto pone de manifiesto tres cosas fundamentales: Que Venus es un planeta esférico pues al pasar frente al Sol se puede ver su sombra redonda claramente definida, que las manchas Solares están, en efecto, sobre la superficie del Sol, pues se mueven con el Sol y son completamente diferentes a la sombra de Venus desplazándose efectivamente sobre el disco Solar y que el Tamaño de Venus es muchísimo más pequeño que el Sol.

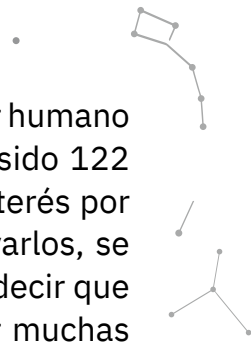
Copérnico y Kepler también estaban interesados en observar los tránsitos, Kepler trabajó en la elaboración de unas tablas de posición



llamadas las Tablas Rudolfinas que en 1627 que le permitieron predecir el tránsito de 1631. Observarlo fue tarea que correspondió a Jeremías Horrocks quien, utilizando un cuarto oscuro, pudo hacer la primera observación de un tránsito, en esa ocasión fue un tránsito de Mercurio. El procedimiento del cuarto oscuro consiste en hacer que una habitación quede completamente cerrada y oscura pero con un pequeño agujero casi del tamaño de un alfiler, los rayos del Sol penetran por este pequeño agujero y forman una buena imagen del Sol en una pantalla blanca. El sistema también se llama cámara negra o cámara de agujero de alfiler, es muy popular entre muchos niños que juegan a formar imágenes con cámaras de este tipo, además es muy útil para explicar jugando la formación de imágenes, de hecho hasta se pueden tomar fotografías con estas cámaras colocando una película fotográfica en el lugar de la pantalla. Este sistema de cámara oscura bien puede considerarse el antecesor del telescopio.

El primer tránsito de Venus observado fue el 4 de diciembre de 1639. J. Horrocks se percató de que las tablas de Kepler no eran lo suficientemente precisas y de que había unas tablas más antiguas hechas por Lansberg que predecían un tránsito para noviembre de ese año,. Sin embargo, Kepler no predijo ningún tránsito para 1639. Horrocks hizo sus propios cálculos, y estimó que el fenómeno no sucedería en noviembre sino el 4 de diciembre. Tenía tan poco tiempo que la noticia no pudo ser anunciada a toda la comunidad, de manera que únicamente Horrocks, su hermano Jonas y su amigo Crabtree la conocieron con suficiente antelación para observar el tránsito y tomar sus parámetros.

Los tránsitos de Venus ocurren primero en dos periodos separados por aproximadamente ocho años, pasados los cuales un nuevo par de estos periodos de ocho años se vuelve a presentar hasta más de cien años después. Son fenómenos muy espaciados; por ejemplo:



durante el tránsito de Venus de 2004, ya no había ningún ser humano vivo que hubiera observado el tránsito anterior que había sido 122 años antes en 1862. Por eso en esa época creció mucho interés por ser capaces de tener a tiempo una mejor forma de observarlos, se idearon nuevos tipos de telescopios para ese fin, se puede decir que el telescopio convertido en ojo mágico comenzaba a tener muchas variantes, y había muchas personas pensando en cómo mejorarlo, muy pronto hubo telescopios especiales para ver el Sol.

Como ya se tenía un tipo de telescopios para ver el Sol, Edmund Halley en 1716 propuso un método para medir la distancia de la Tierra al Sol. Ésta distancia se conoce como “Unidad Astronómica”, o UA. El método estaba basado en medir con precisión los tiempos de contacto de Venus con el Sol durante un tránsito, pero a pesar de todos los esfuerzos, fue imposible determinar con suficiente precisión el momento del contacto y por ende la Unidad Astronómica por causa de los problemas con la turbulencia atmosférica y la calidad de los telescopios, pero esto despertó el interés en estudiar mejor tanto el diseño de los telescopios como el efecto de las turbulencias sobre sus imágenes. El problema de las turbulencias afecta siempre a la calidad de la imagen, esta es la razón por la que ahora, se construyen los observatorios sobre altas montañas donde la turbulencia es menor y la luz proveniente de las estrellas tiene que atravesar una capa de atmósfera más delgada.

Para el siguiente tránsito de 1761 se prepararon expediciones en un gran número. Más de 120 observaciones y mediciones se llevaron a cabo en distintos rincones de la Tierra, que se convirtieron en las primeras aventuras científicas con propósitos de observación científica y astronómica. El telescopio era el actor principal de estas aventuras, Las expediciones se repitieron ocho años después en 1769, ocasión en la que se cuenta que hasta el famoso capitán James Cook

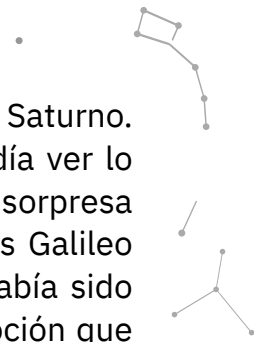


- observó y tomó datos del tránsito de Venus en Tahití. Los siguientes tránsitos tardaron mucho más.



En cuanto a las ocultaciones, que son los momentos en que Venus o Mercurio pasan por detrás del Sol, sólo se pueden explicar entendiendo que tanto Mercurio como Venus giran, como en efecto lo hacen, alrededor del Sol. Hoy sabemos con precisión cuando suceden estos fenómenos, en realidad son muy espaciados, sin embargo la observación de una ocultación de Venus es hasta la fecha muy difícil de lograr, ya que el enorme brillo del Sol opaca completamente al de Venus, Venus que en los ocasos y amaneceres terrestres es la estrella más brillante del firmamento, Venus que en ocasiones se puede ver a plena luz del día por su gran brillo, ese mismo Venus, se vuelve completamente invisible cuando se acerca al grandioso brillo del astro rey. Pero lo que sí se puede hacer es calcular su aparente movimiento en el cielo y predecir cuándo pasará por detrás del Sol, entonces, no se le puede ver la sombra como sucede en un tránsito, y por tanto se hace evidente que ha pasado por detrás del Sol. También se puede predecir que al terminar de pasar por detrás del Sol y alejarse lo suficiente de su inmenso brillo será visible nuevamente, cuando esto suceda el tamaño de Venus será mucho más pequeño, ya que ha pasado mucho más lejos por detrás del Sol de lo que pasa durante un tránsito cuando está mucho más cerca de la Tierra y en consecuencia todo esto demuestra definitivamente que gira alrededor del Sol y no de la Tierra.

Galileo observó otro de los grandes planetas: Saturno. Nuevamente el telescopio le reveló lo nunca antes visto. Pudo ver al planeta llamado Saturno o Cronos en honor del dios del tiempo. Tampoco lo vio como una esfera perfecta, sino como lo que le pareció ser ¡una esfera con orejas a cada lado! Hoy sabemos que la capacidad de resolución de su telescopio no le permitió distinguir que esas



“orejas” eran ni más ni menos que los famosos anillos de Saturno. Esto fue una prueba más de que con el telescopio se podía ver lo que nunca nadie había visto jamás. Meses más tarde su sorpresa fue mayor, cuando las “orejas” dejaron de verse, entonces Galileo dudó de todo lo que había visto antes, ¿Sería que todo había sido una alucinación? ¿Se habría dejado llevar tanto por la emoción que había visto lo inexistente? O... tal vez era el castigo a sus pecados por atreverse a perturbar el cielo inmutable con su atrevido ojo mágico y su mirada, o sería por dudar de las creencias y de la secular sabiduría de la Santa Iglesia, de la tradición ancestral, de todo el conocimiento anterior a él. Galileo debió sentirse muy confundido de que ahora las “orejas” ya no se veían, tal vez las otras visiones observadas en el resto del mundo celeste comenzarían a desaparecer también. Lo que no sabía era que el ángulo de la inclinación del eje de rotación de Saturno cambia conforme avanza la traslación de la Tierra, y del propio Saturno, los anillos de Saturno se presentan de canto durante una época y posteriormente al cambiar el punto de observación y las posiciones relativas entre la Tierra y Saturno los anillos se presentan más de plano a la vista desde la Tierra y son más evidentes. Sucedió que varios días después los anillos de Saturno fueron nuevamente evidentes al telescopio de Galileo y él respiró profundamente. Empezó a buscar la explicación a tal fenómeno, nuevamente parte de la explicación estaba en aceptar que los planetas giran en torno al Sol y que la Tierra no es el centro del sistema Solar. Saturno estaba ahí revelando su naturaleza, su excepcional forma y su majestuosa belleza, ante los ojos de Galileo quien nuevamente era capaz de ver lo nunca antes visto por ojo alguno, sólo él con su ojo mágico podía ver semejante maravilla.

Las emociones y los descubrimientos no pararon ahí. Galileo dirigió su telescopio a la constelación de Orión, desde siempre Orión ha sido una zona muy llamativa del firmamento, como lo es aún hasta



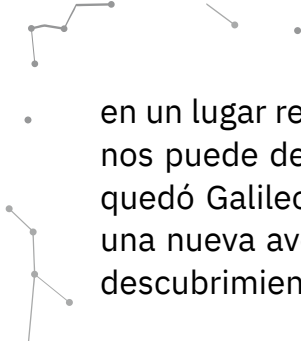
nuestros días, ya que domina el cielo invernal cuando las noches son más claras y el cielo se ve mejor, hoy en día casi todo mundo conoce el cinturón de Orión como Las Tres Marías o los Tres Reyes Magos. La mayoría de las estrellas débiles que él pudo ver en Orión esa noche estaban siendo vistas por primera vez en la historia de la humanidad por un ser humano, todo gracias al telescopio. Galileo continuó observando y observando, cada vez que ponía su ojo detrás del telescopio veía lo nunca antes visto por ser humano alguno, Observó también la gran nebulosa de Orión que se ve como mancha, pues está compuesta de gas ionizado, pero pensó que se trataba de algún defecto de la óptica o de disturbios de la atmósfera, lo mismo sucedió cuando pudo haber vislumbrado la galaxia de Andrómeda, de haber sido así estaba observando con el telescopio algo tan alejado de la Tierra que de haber sabido la distancia de dos mil doscientos millones de años luz a la que se encuentra, jamás lo hubiera creído. Aunque en realidad la galaxia de Andrómeda se puede ver a simple vista, esto sólo es posible con mucha suerte y experiencia.

La Vía Láctea por su parte era conocida desde siempre, los griegos la llamaron así porque creían que se trataba de un río de leche cruzando el firmamento. Hoy en día nos puede parecer una leyenda absurda, pero en la época de los griegos y aún en la de Galileo, cuando no había luz eléctrica iluminando grandes ciudades, ni contaminación atmosférica, las noches profundamente oscuras dejaban ver la majestuosidad y brillo de la Vía Láctea, en nuestros días en las ciudades apenas si se ven algunas de la estrellas más brillantes, pero aquel que haya tenido la suerte de estar de noche un lugar apartado y muy oscuro sin luna, o en un observatorio, puede haber visto sólo un poco de la grandiosa impresión que causa una noche estrellada con la Vía Láctea presente, la impresión que da efectivamente, es de un verdadero río de leche. Cuando Galileo apuntó su telescopio

a la Vía Láctea la sorpresa es mayúscula al darse cuenta que está formada por miríadas de estrellas imposibles de contar, el camino de leche ya no es más de leche sino de millones y millones de estrellas, el telescopio puede revelar secretos no imaginables para el ser humano, por primera vez el hombre se eleva hasta el cielo

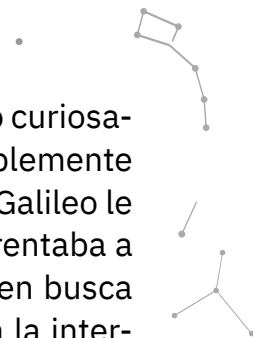
Cuenta la leyenda griega que la leche celeste había sido regada por todo el cielo cuando Hera, la esposa de Zeus, el dios de dioses, retiró de su pecho, de una forma brusca, a Hércules hijo bastardo de Zeus, ya que Hermes, el mensajero de los dioses, le había colocado al niño en el pecho para que mamara de su leche y se convirtiera en inmortal, mientras ella se encontraba dormida, el retirar al niño del pecho violentamente provocó que su leche se regara por todo el firmamento. Zeus aún siendo un dios, era muy aventurero y le gustaban mucho las mujeres, en una de sus aventuras, engendró a Hércules con Alcmena en ausencia del marido de ésta. Como ella le gustaba mucho, decidió pasar con ella toda una larga noche y ordenó que Sol se detuviera y no saliera cuando tenía que haberlo hecho. Este pasaje de la mitología griega es semejante al de la Biblia cuando Josué comanda al Sol a detenerse (Josué C10.v12-14). Sin embargo la leyenda griega evidentemente no se usó nunca para argumentar que era el Sol el que se movía y no la Tierra.

Galileo dirigió su telescopio a la Vía Láctea y pudo ver por vez primera que no estaba compuesta de leche celeste de Hera, sino de miles de millones de pequeñas estrellas poblando lo que hoy sabemos es uno de los brazos de nuestra propia galaxia: La Vía Láctea. La impresión de observar tal cantidad de estrellas fue una de las emociones más grandes en la vida de Galileo, como puede serlo hoy mismo para cualquier persona que jamás se haya asomado a mirar el cielo a través de un telescopio, la abrumadora cantidad de estrellas que se pueden ver deja atónito a cualquiera, la simple observación de la Vía Láctea



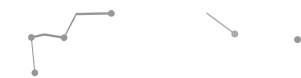
- en un lugar realmente oscuro a ojo desnudo o con unos binoculares, nos puede dejar hoy mismo impresionados de por vida, tal y como quedó Galileo. El ojo mágico parecía no tener límites, cada día era una nueva aventura, una nueva emoción, un nuevo y estremecedor descubrimiento.

Decidido a dar a conocer sus descubrimientos, redactó a toda prisa el texto *Sidereus Nuncius* “Mensajero Sideral” o “Mensajero de los Astros”. Más tarde para defenderse de la acusación de arrogancia por atribuirse la condición de portavoz celestial, aclaró que el título de su libro debía entenderse como: “Mensaje de los Astros”. El libro era una breve relación de sus descubrimientos que se publicó en marzo de 1610 y que lo hizo famoso de inmediato, dedicó esta publicación al gran duque de Toscana Cósimo II de Médicis, e incluso propuso nombrar a los satélites de Júpiter como “planetas Mediceos”. Con ello Galileo se aseguró su nombramiento como matemático y filósofo de la corte Toscana y la posibilidad, por la que venía luchando desde hacía ya varios años, de regresar a Florencia. Su nuevo empleo incluía una cátedra honoraria en Pisa, sin obligaciones docentes, con lo que también se le cumplía un anhelo largamente esperado, además recibiría un increíble salario para la época de ¡mil escudos anuales! Europa entera se enteró de su trabajo, y pronto mucha gente estaba observando el cielo con diferentes telescopios, el ojo mágico se había reproducido, muchos científicos querían tener uno propio, pero los telescopios no se vendían en las tiendas, era necesario fabricarlos. Uno de los más interesados en tener un telescopio fue Johannes Kepler; el famoso astrónomo alemán quien más tarde enunciaría importantes leyes relacionadas con la rotación de los planetas, a quien el propio embajador en Praga le había entregado una copia del “Mensajero de las Estrellas” con una sutil sugerencia para que le diera su opinión. Kepler ansiaba desde entonces tener un telescopio, le escribió a Galileo rogándole que le prestara su



telescopio, y hasta se ofreció a ser su ayudante, pero Galileo curiosamente ni siquiera dio respuesta a esta amable carta, e increíblemente ¡nunca aceptó las leyes de Kepler! Ésta falta de cortesía de Galileo le trajo a la postre problemas, pues más tarde cuando se enfrentaba a la inquisición tuvo que escribir respetuosamente a Kepler en busca de apoyo, manifestándole sus preocupaciones en cuanto a la interpretación que el santo oficio hacía de las escrituras. Ya desde 1597 Galileo se escribía con Kepler, y sólo a él le había confesado en una de sus misivas su atrevida adhesión a la astronomía copernicana, lo que era sumamente peligroso en términos político eclesiásticos.

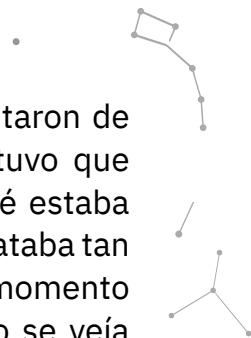
Finalmente el Arzobispo de Colonia le regaló a Kepler un telescopio, Kepler, ansioso lo estudió cuidadosamente y fue él quien en realidad pudo dar una explicación técnica de su funcionamiento en una publicación que formaba parte de su magnífico tratado de óptica llamado *Dioptrice*. A pesar de que no fue capaz de descubrir la ley que rige la refracción de la luz en este tratado, sí sentó las bases de la óptica geométrica y sus usos en instrumentos, el hecho de que Kepler pudiera dar una explicación plausible del funcionamiento del telescopio, debió molestar a Galileo, pues Galileo siempre dijo que él había llegado al telescopio a través del análisis, aunque en realidad nunca lo demostró, y es más factible creer que su capacidad creativa y su impaciencia por observar el cielo lo hayan llevado a un proceso más empírico que analítico, desde luego sin menoscabo de sus grandes logros. Por su parte Kepler aplicó un muy buen análisis al funcionamiento del instrumento que lo llevó a comprender y sugerir que el campo de visión óptico del telescopio se podía ampliar con el uso de una lente convergente, en lugar de la divergente que tenía el telescopio galileano, a pesar de que al hacerlo la imagen se vería invertida, pero para propósitos prácticos una imagen invertida de campo amplio siempre es mejor que una erecta de campo angosto. Se



- creé que fue ésta sugerencia de Kepler la que llevó a cabo el Jesuita Scheiner al modificar su telescopio colocando una lente convergente como ocular, no sólo para aumentar el campo, sino también para ser capaz de proyectar la imagen del Sol sobre una pantalla y observar las manchas solares. No obstante el telescopio con lente ocular convergente, se conoce como telescopio kepleriano. La mejoría que se logró con el aumento del campo, sin embargo, puso en evidencia otro problema, ya que las deformaciones de la imagen, conocidas como aberraciones, se hicieron más notorias.

El Telescopio mismo, y los descubrimientos que se lograron con él dispararon el interés en estudiar cada vez más la óptica para comprenderlo y mejorarlo, Willebrord Snell por fin encontró las relaciones matemáticas que gobierna el fenómeno de la refracción, y proclamó la ley que lleva su nombre, explicó cómo y cuánto se dobla la luz al pasar de un medio a otro, en particular cómo se quiebra un rayo de luz pasando del aire al vidrio y viceversa. Con esta ley de Snell se construye toda la óptica clásica. Más tarde los problemas con las aberraciones y la amplitud del campo fueron abordados por Huygens que diseñó un ocular con dos lentes convergentes que tenía, situaba la segunda lente muy cerca del plano focal de la lente principal para ampliar más el campo. En cuanto al resto de las aberraciones, un constante estudio de la óptica llevó a disminuirlas, aunque hasta la fecha los diseñadores ópticos continúan luchando cada día por lograr mejores imágenes libres de aberraciones, se establecieron los principios físicos del telescopio, un momento importante en el inicio del telescopio.

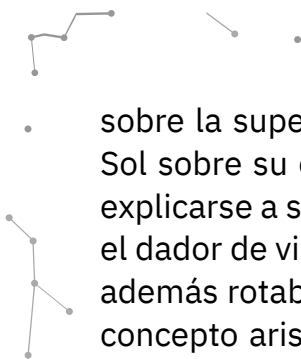
Durante el viaje a Roma en marzo de 1610 para hacer público su invento Galileo fue recibido por el príncipe Federico Cesi quien ofreció un banquete en su honor. Antes de la cena los asistentes fueron invitados usar el telescopio para leer una inscripción colocada a más



de mil quinientos metros, después de la cena todos disfrutaron de la observación de los satélites de Júpiter, el telescopio tuvo que ser desarmado en presencia de todos para mostrar de qué estaba compuesto, los invitados se sorprendieron al notar que se trataba tan sólo de dos lentes, además les parecía inexplicable en ese momento el hecho de que al mirar sólo por una de sus lentes ¡todo se veía más lejos! La razón de esto es que el ocular de un telescopio galileano es precisamente una lente negativa que por sí sola hace ver los objetos más lejos de lo que están, hoy en día cualquier estudiante de física elemental entiende el asunto como perfectamente explicable y normal.

Ante la sorpresa de todos Galileo recibió un gran aumento en su salario. El príncipe Federico Cesi fue el primero en llamar al instrumento con la palabra telescopio, hasta entonces todos se referían a él simplemente como “el instrumento”, además hizo a Galileo miembro de la Academia dei Lincei que él mismo príncipe había fundado en 1603 y que fue la primera sociedad científica de una importancia perdurable. Pero al año siguiente su posición mejoró aún más cuando el gran duque de Toscana Cósimo II de Médicis le ofreció un puesto vitalicio como matemático y filósofo del duque, la suerte parecía sonreírle, a tal grado que fue recibido amistosamente por el propio papa Paulo V. y por cardenal Maffeo Barberini quien a la postre se convertiría en el Papa Urbano VIII. Pero la fortuna que tanto le sonreía no le dejaba saber que sus verdaderos problemas estaban por venir. Galileo tendría que pagar cara la osadía de asomarse al cielo con un ojo mágico.

En Junio de ese mismo año 1610, no sólo Galileo poseía un telescopio, sin embargo él afirmó que había visto las manchas del Sol. Se cree que se dañó la vista al mirar el Sol con el telescopio, Galileo dijo que pudo observar no Solo las manchas sino que también pudo, seguirlas



- sobre la superficie Solar para establecer el periodo de rotación del Sol sobre su eje. Nuevamente estaba en problemas para explicar y explicarse a sí mismo el porqué el cuerpo más brillante del universo, el dador de vida y calor, no era un cuerpo perfecto, sin mácula, y que además rotaba sobre su propio eje, esto nuevamente contradecía el concepto aristotélico de que todos los cuerpos celestes debían ser perfectos e inmaculados. Cada descubrimiento le helaba la sangre, y ponía en entredicho los cimientos de su formación basada en la fe católica.

Pero esta vez Galileo no estaba solo; un jesuita alemán Christof Scheiner, también había observado en 1611 las manchas Solares, con el tipo de telescopio diseñado por Kepler que usaba dos lentes convergentes y que además permitía proyectar la imagen del Sol sobre una pantalla para no verla directamente y evitar dañarse los ojos, seguramente el jesuita temió ser reprendido por sus superiores y lo publicó bajo seudónimo. Aunque creía que las manchas eran satélites del Sol que pasaban frente a él, esta suposición no parecería tan descabellada si se piensa en que en esa época los satélites de Júpiter estaban tan de moda. La publicación fue motivo de burlas por parte de los propios miembros de La Compañía de Jesús, Scheiner guardó sus descubrimientos por años y no fue hasta 1626 que los publicó nuevamente.

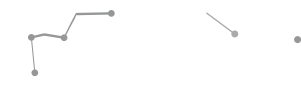
Parece que la primera observación de las manchas solares fue hecha por Thomas Harriot en Inglaterra a finales de 1610. El astrónomo David Fabrici y su hijo Johann también hicieron observaciones regulares de las manchas Johann mantuvo una observación cuidadosa de un grupo de manchas en Junio de ese año y concluyó que las mismas estaban sobre el Sol, y por lo tanto, el movimiento de las manchas no podía ser menos que consecuencia de la rotación del propio astro. El Sol símbolo de la perfección en toda la cosmología

estaba manchado, el telescopio había sido el instrumento capaz de descubrir semejante evidencia.

Por esas mismas fechas Galileo, que ya las había observado con anterioridad las manchas, se las hizo ver a diversos personajes durante su estancia en Roma, pero todavía no había publicado nada al respecto, sin embargo se animó cuando recibió desde Alemania los dibujos del Jesuita Scheiner que coincidían con sus propios dibujos, comenzó con él una relación epistolar y una controversia en el sentido de que Galileo afirmaba que eran manchas mientras que Scheiner objetaba que se trataba de satélites. La controversia llevó a Galileo a publicar sus observaciones en un artículo llamado “Cartas sobre las manchas solares”, A le esto le siguió una amarga disputa entre ambos observadores por la primicia de haber descubierto las manchas, la riña duró más de diez años logrando únicamente que el jesuita se convirtiera en un enemigo acérrimo de Galileo que en el futuro iba a ser de importancia en la amarga lucha que aquel sostuvo con la inquisición.

Los ataques contra Galileo comenzaron; en un principio provenían de académicos mediocres y oscuros monjes reaccionarios, porque hasta ese momento las altas esferas de la iglesia habían elogiado todos sus descubrimientos y las clases gobernantes lo apoyaban económicamente. Si Galileo no hubiera respondido a esos primeros ataques, nunca se hubiera tenido que enfrentar a la inquisición, pero dado su carácter, no se contuvo de responder en algunos casos hasta agresivamente con cartas que después fueron usadas como pruebas en su contra.

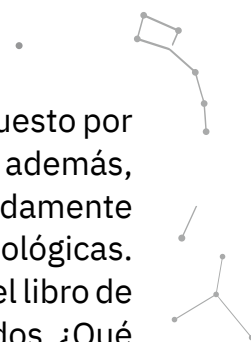
Los verdaderos problemas para Galileo comenzaron cuando el cura dominico Tomasso Caccini de la iglesia de Santa María Novella en Florencia durante la lectura de las escrituras de la misa leyó un pasaje del libro de Josué en el que éste jordenaba al Sol que se detuviera! Y



el Sol detuvo junto con la Luna por más de un día (Josué C10.v12-14) durante su homilía desde el púlpito, explicó que si le había ordenado al Sol detenerse implicaba que el Sol estaba en movimiento, y no en reposo con los planetas girando en torno suyo, y que si la Tierra fuera la que se movía, entonces en las escrituras Josué debería haber ordenado a la Tierra que se detuviera y no al Sol. No contento con esto el cura citó el texto de los Hechos de los Apóstoles que en el capítulo 1 versículo 11 pregunta: “Galileos, ¿qué hacéis mirando al cielo? Así Caccini señalaba directa y claramente a Galileo Galilei como opositor a las sagradas escrituras. Seguramente ignorante, o tal vez olvidándolo intencionalmente, nunca reparó en el pasaje de la mitología griega en el que Zeus también ordena al Sol detenerse y no salir cuando debía hacerlo, para así, poder disfrutar de una noche más larga de amor prohibido.

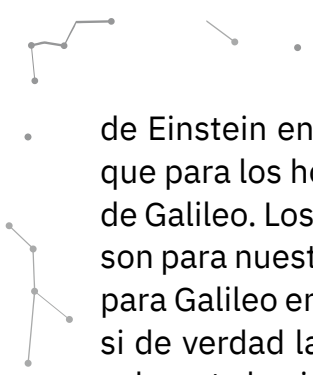
Galileo respondió con una carta abierta a la gran duquesa Cristina de Lorena recordándole que según su enseñanza católica los escritores de la Biblia la escribieron en lenguaje común para que todo hombre comprendiera el significado de su enseñanza, ya que el fin de las escrituras era mostrar al hombre el camino para alcanzar el cielo, mas no mostrar la forma como el cielo se comporta. Se lamentó de que no se interpretaran sus descubrimientos como hechos, sino como si él mismo hubiera colocado con sus manos los cuerpos celestes en la forma como están.

Los ataques continuaron y aumentaron hasta llegar al Santo Oficio. Había un jesuita estudioso y preparado, el cardenal Roberto Bellarmino, tenía como tarea adaptar la interpretación de las escrituras a los nuevos descubrimientos, con la condición de que estos nuevos descubrimientos fueran incuestionables, se podía pensar que apoyaría a Galileo, sin embargo lo objetó tácitamente diciendo que según él no existía ninguna prueba científica concluyente de que



la Tierra giraba alrededor del Sol, con lo que el sistema propuesto por Copérnico quedaba de carácter puramente hipotético, y que además, declaró que el papel del astrónomo era el de predecir adecuadamente los fenómenos celestes y no el de proclamar verdades cosmológicas. Con estos resultados y declaraciones terminó por condenar el libro de Copérnico “De Revolutionibus” a la lista de los libros prohibidos. ¿Qué podía esperar Galileo de éste hombre? Finalmente el 23 de febrero de 1616 la inquisición declaró al sistema geocéntrico copernicano como “falaz y opuesto a las Sagradas Escrituras”, y Galileo recibió la advertencia de no enseñar públicamente las teorías de Copérnico. El telescopio, y el esfuerzo humano por saber más, perdían su primera de muchas batallas ante el poderoso clero, la magia del ojo mágico no era suficiente para enfrentarse al pobre entendimiento de los muchos y recalcitrantes conservadores. El telescopio abría un mundo nuevo de conocimientos, pero estos hombres se negaban a verlo, ni siquiera se molestaban en mirarlo con la mente un poco más abierta

Para Aristóteles, y por ende para la curia, el movimiento tenía que ser causado por algo, y se requería entender qué lo causaba, el reposo por otra parte no necesitaba causa alguna, era el estado natural de las cosas, y en cierto sentido, este concepto estaba fuertemente arraigado porque parece tener validez desde el punto de vista cotidiano de la vida, pero para Galileo el movimiento no necesita una causa, solo el cambio en el movimiento es lo que sí requiere de una causa que lo provoque. Este planteamiento llevó a la postre a Newton a encontrar que la fuerza era la causa del cambio en el movimiento cuando enunció su famosa segunda ley. Más tarde en el siglo 20 Einstein llegó más profundo en el asunto cuando afirmó que, primero, no se podía distinguir el reposo del movimiento y que la causa del movimiento no es la fuerza sino la deformación del espacio tiempo. Puede que la complejidad para que la gente entendiera la afirmación



de Einstein en el siglo 20 haya sido comparable con la complejidad que para los hombres del siglo 17 representó entender la afirmación de Galileo. Los argumentos para demostrar que la Tierra no se movía, son para nuestro entender actual, tan absurdos como lo debieron ser para Galileo en su época. Estos argumentos, por ejemplo, decían que si de verdad la Tierra se movía, entonces al lanzar una flecha verticalmente hacia arriba esta debería caer en otro punto atrás del punto donde fue lanzada respecto al supuesto movimiento de la Tierra ya que mientras la flecha estaba en el aire, la Tierra debía ya haber recorrido una cierta distancia, y por lo tanto la flecha caería atrás en relación al movimiento de la Tierra. En el fondo de su mente un hombre como Galileo que comprendía el concepto de marco de referencia inercial debió reír burlonamente al escuchar ese tipo de argumentos, aunque también debió sentir una profunda decepción. No obstante aún en nuestros días hay quien no comprende claramente lo que es un marco de referencia inercial, se llega a pensar, por ejemplo, que un avión que vuela a favor de la rotación de la Tierra tarda más en recorrer la misma distancia que si fuera en sentido contrario, es decir encontrándose a la Tierra en su camino. dado que la velocidad superficial de la Tierra en el ecuador es casi treinta metros por segundo, esto debería influir en el resultado del avión, sin embargo hay que saber que en realidad que el avión, y mucho menos la flecha, nunca se han salido de la Tierra como para desligarse de su efecto gravitatorio, y aunque tanto el avión como la flecha vuelan, lo hacen a tan baja altura en relación al tamaño de la Tierra que para propósitos prácticos nunca abandonan la superficie terrestre, ni mucho menos su campo gravitatorio, además al momento de abandonar el suelo el propio avión lleva consigo no sólo su velocidad particular sino que además la velocidad inercial de la Tierra misma, esta velocidad de impulso que la Tierra le da en todo momento, se conserva aún estando en el aire dado que siempre sigue atado al campo gravitacional terrestre, y así se mantiene atado de acuerdo con la ley de la

inercia, ¡la misma ley que fue enunciada por el propio Galileo!, y más tarde formalizada como la primera ley de Newton que dice que: todo cuerpo en reposo tiende a mantenerse en reposo y todo cuerpo en movimiento tiende a mantenerse en movimiento, mientras no haya una fuerza que modifique ese estado de reposo o de movimiento.

El concepto de marco de referencia inercial era un poco difícil de comprender, porque estando en la Tierra la cual se mueve a velocidad constante no hay aceleración que nos haga sentir su movimiento, la aceleración centrípeta en la superficie de la Tierra se compensa con creces por la aceleración de la gravedad, es decir, mientras que la rotación de la Tierra nos debería proyectar hacia afuera expulsándonos como a gotas de agua en una pelota de tenis que gira rápidamente, la atracción de la gravedad nos mantiene confinados a la Tierra. No obstante si viajamos en un tren que lleva velocidad constante sobre una vía muy plana, no sentimos que el tren se mueva y bien podríamos pensar que es el entorno externo o el campo el que se mueve hacia atrás cuando nos asomamos por la ventanilla, muchos de nosotros hemos experimentado esta sensación de que es el entorno campo lo que se mueve y no el tren. En esas circunstancias el tren es un marco de referencia inercial, sin embargo en cuanto el tren frena, acelera o toma una curva la aceleración que cualquiera de estos hechos provoca sobre el tren nos hará sentir inmediatamente que es el tren el que se mueve sobre la vía, es decir el tren se mueve relativamente al suelo. Este es el fenómeno más simple de la teoría de la relatividad sin embargo esta teoría nos tiene preparadas muchas sorpresas en la Física moderna.

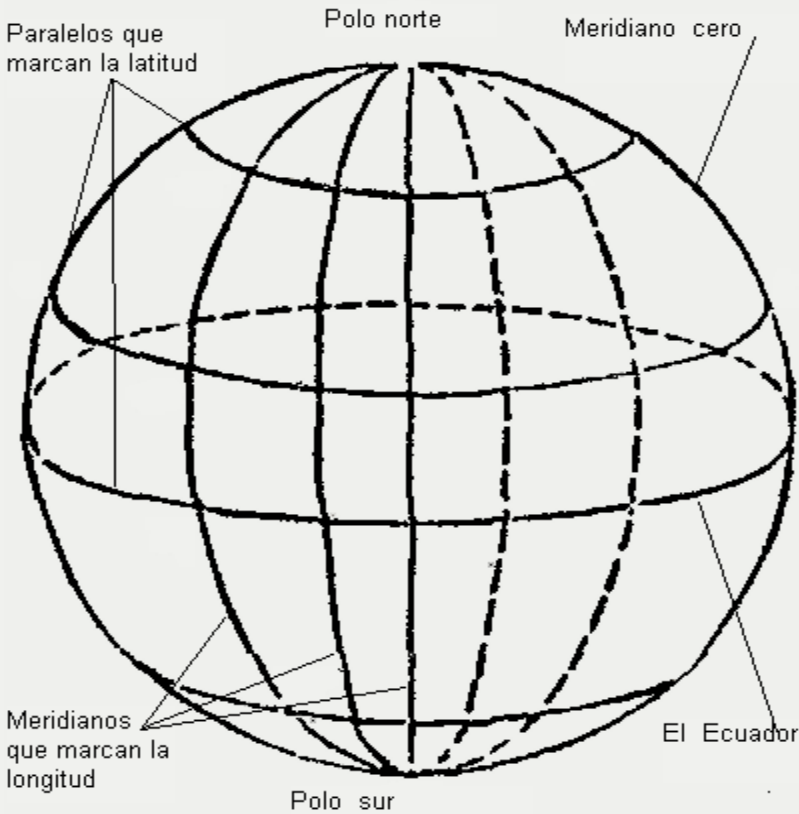
En los de años siguientes Galileo ya no habló más de sus descubrimientos, pero buscaba la prueba fehaciente que Bellarmino requería, él mismo tenía mucho que pensar, mucho que analizar mucho que explicarse, estaba convencido de que le asistía la razón pero tuvo



- que retirarse a Florencia a meditar, retomó sus observaciones con el telescopio, analizó detalladamente los movimientos de los satélites de Júpiter y anotó todos los datos para tiempos mejores, el telescopio lo llenaba de satisfacciones y nuevos conocimientos, pero sobre todo la observación del movimiento preciso de los satélites jovianos creaba un su mente una animación diaria de cómo se vería la película del movimiento de estos satélites. Entonces una gran idea llegó a su mente.



En esa época, uno de los principales problemas de la navegación era saber la posición de las naves en el mar. Los marinos navegantes no tienen puntos de referencia fijos como los hay en Tierra para saber en qué parte del globo terráqueo están, ellos navegaban con las estrellas, la brújula, y las cartas celestes de navegación que ya bien eran conocidas en esa época. Para determinar la posición del barco en el globo terráqueo se necesitan dos coordenadas, llamadas coordenadas terrestres: una es la latitud, que representa la distancia en grados, minutos y segundos desde el ecuador, la latitud se visualiza como círculos imaginarios paralelos al ecuador, y la otra coordenada terrestre es la longitud, visualizada como círculos alrededor de la Tierra llamados meridianos que pasan por los polos saliendo de un polo y pasando por el otro polo regresan al polo de partida cerrando el círculo, como formando gajos de una naranja. Este sistema de círculos imaginarios o meridianos establece la distancia en horas, minutos y segundos desde el meridiano de referencia, conocido también como meridiano cero o meridiano universal. La hora local solar de cada meridiano en el globo representa también la distancia en horas a la que ese meridiano se encuentra del meridiano cero.



Como ejemplo sabemos que hay 6 horas de diferencia entre la hora local de Londres y la hora local de la Ciudad de México, esto significa que el meridiano que sirve para definir la hora civil en México está a 90 grados del de Londres. Porque el círculo terrestre de 365 grados está dividido en 24 horas, que es lo que dura un día, da 15 grados para cada hora, con sus correspondientes subdivisiones en minutos y segundos. Estrictamente cada lugar del mundo tiene una hora local que cambia un segundo cada pocos metros, y que correspondiente a su meridiano particular, pero para fines prácticos, se toma una región completa y se le asigna un meridiano que marcará la hora civil en esa zona, aunque el mediodía Solar en la ciudad de

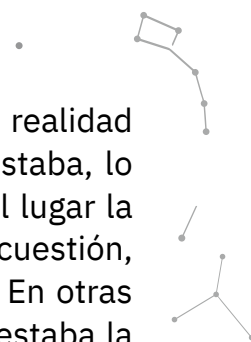


- México llega después que en la ciudad de Mérida ambas ciudades se rigen por una misma hora civil, pero estrictamente la hora Solar es diferente y cambia de segundo a segundo en cada lugar. Hay 86,400 segundos en 24 horas lo que corresponde a toda una vuelta de la Tierra sobre su eje, de manera que la distancia de aproximadamente 40,000 kilómetros que representa un círculo sobre el ecuador, se puede dividir entre los 86,000 segundos de un día para saber que cada segundo en la coordenada de longitud representa 462 metros sobre el ecuador. Esto quiere decir que un error de un segundo en la medida de la coordenada de longitud, representa entonces un error de 462 metros si se está en el ecuador, éste es un error aceptable para navegar. Si no se está en el ecuador entonces el valor del error es menor, ya que entre más lejos se esté del ecuador las circunferencias de la Tierra paralelas al ecuador se van haciendo cada vez más pequeñas y más aún, a medida que se acercan al polo, donde el círculo de la Tierra paralelo al ecuador se convierte en cero pues de hecho ahí convergen todos los meridianos.



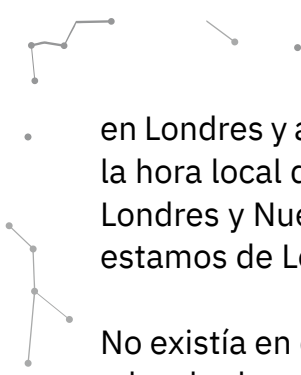
Para calcular la latitud de un lugar, los navegantes “pesaban” el Sol durante el día y las estrellas brillantes conocidas en sus mapas durante la noche. “Pesar” el Sol o las estrellas consistía en medir su altura sobre el horizonte cuando alcanzaban su máxima altura en el cielo. Se dice que el Sol o cualquier astro culminan cuando alcanzan su mayor altura sobre el horizonte, si se trata del Sol, ese momento marca el mediodía en ese lugar donde se toma la medición. Ahora bien, durante la noche, se mide el ángulo de la estrella polar con el horizonte, o cualquier otra estrella conocida que culmine y de la cual se conocen sus efemérides.

Con el uso de un sextante o un astrolabio los marinos expertos podían “pesar” los astros y determinar con esa medición, la altura del Sol culminante, y de las estrellas conocidas, o la estrella polar.



Resultaba entonces que con la medida de este “peso “(en realidad es un ángulo) se calculaba la latitud del lugar donde se estaba, lo cual, en alta mar, era de gran utilidad. Siendo la latitud del lugar la distancia angular que hay desde el ecuador al punto en cuestión, se podía saber la posición del buque respecto al ecuador. En otras palabras, se podía saber que a qué distancia del ecuador estaba la embarcación.

Sin embargo la otra coordenada representa un reto, ya que la única forma de obtener o medir la longitud de un lugar y obtener la otra coordenada que determina la posición del navío en relación al meridiano o punto de partida, es llevando en el barco un reloj que conserve la hora de referencia del meridiano o punto de partida, o de cualquier otro meridiano que se tome como origen, al que se llama “meridiano cero” o meridiano universal, y que tiene su propia hora local llamada hora universal. Con un reloj así se puede comparar una hora específica del día en la nave, generalmente el mediodía cuando culmina el Sol, con la hora de referencia en el meridiano cero, mantenida por el reloj a bordo. Ya que la circunferencia de la Tierra tiene 360 grados que divididos entre las 24 horas del día, resultan en que cada hora corresponde a quince grados en la circunferencia de la Tierra, sabiendo el tiempo de atraso o de adelanto de la culminación del Sol en el buque y comparándolo con la hora universal del meridiano cero de referencia, se puede calcular la longitud del navío con una precisión que depende de la precisión que el reloj a bordo sea capaz de mantener y de algunos ajustes necesarios. En otras palabras hay que comparar la hora local del navío, tomada por la culminación de un astro, con la hora del meridiano cero conservada por el reloj a bordo del barco, y conociendo la diferencia en tiempo entre ambas horas, se puede saber la longitud de la posición del barco. Un ejemplo más claro sería como si en nuestros días abordáramos una avión, digamos

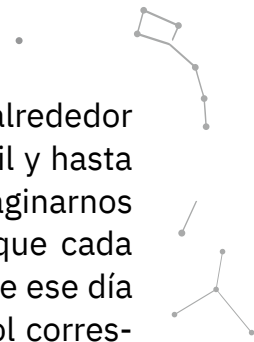


- en Londres y al aterrizar en Nueva York no cambiamos nuestro reloj a la hora local de Nueva York, entonces la diferencia de horarios entre Londres y Nueva York nos da una buena idea de lo lejos al oeste que estamos de Londres.

No existía en esa época un reloj capaz de mantener la hora universal a bordo de un barco con la precisión necesaria para confiar en que la posición calculada era la cierta, ya de por sí el hecho de medir la latitud del Sol o las estrellas a bordo de un barco en movimiento era un asunto bastante difícil y sólo los más expertos navegantes eran capaces de lograrlo, el mantener la hora universal con relojes de agua o de arena a bordo de un barco en movimiento era prácticamente imposible.

La idea que Galileo concibió era la de usar el periodo de los satélites de Júpiter girando alrededor del planeta como un reloj, que mantendría la hora universal con enorme precisión, aunque en esa época no había relojes de manecillas, nosotros podemos imaginar el reloj del sistema joviano como un reloj en el cual en vez de manecillas tendríamos un cuarteto de pequeños satélites girando alrededor de Júpiter y marcando el tiempo con una gran precisión y que además por estar en el firmamento podía ser observado desde cualquier parte del mundo incluyendo desde los barcos en travesía.

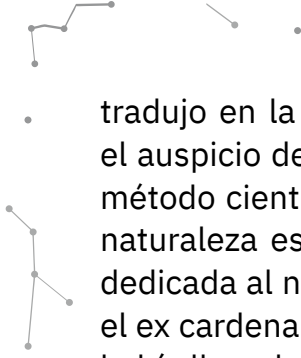
Hoy en día sabemos que estos cálculos no serían muy precisos ya que involucran varias correcciones de lo que se llama la ecuación del tiempo, que tiene que ver con que no todos los días duran exactamente lo mismo, sino que hay pequeñas variaciones, principalmente debidas a que la órbita de la Tierra no es un círculo sino una elipse, estas variaciones llegan a ser de gran importancia, sin embargo hay una variación muy importante y que encierra una paradoja espectacular; hoy en día nos es fácil imaginar el sistema Tierra Sol como



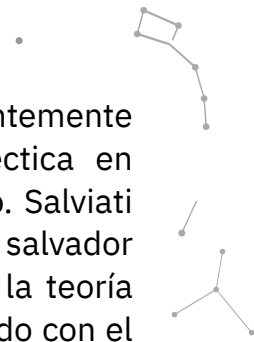
visto desde afuera del sistema Solar con la Tierra girando alrededor del Sol, pero en la época de Galileo hubiera sido muy difícil y hasta un pecado tener esa imagen en la mente, no obstante al imaginarnos la Tierra girando alrededor del Sol nos daremos cuenta que cada día la Tierra gira sobre su eje, pero al mismo tiempo durante ese día recorre una pequeña porción de su órbita alrededor del Sol correspondiente a $1/365$ de dicha órbita lo que significa que al siguiente día encuentra al Sol en el mismo punto 4 minutos más tarde, ya que $1/365$ de día ¡son aproximadamente cuatro minutos! Esta diferencia entre lo que se llama el día sideral que es el tiempo que le toma al Sol en regresar al mismo punto del cielo en el que estaba el día anterior y el día Solar que es el tiempo que le toma al Sol en regresar al mismo punto de observación desde la Tierra en el que estaba el día anterior, podría haberse observado técnicamente con un telescopio en la época de Galileo, y la paradoja consiste en que este simple hecho que parece complicar el problema de la obtención de la longitud sólo se puede explicar reconociendo que la Tierra gira alrededor del Sol. Y bien pudo ser la prueba irrefutable que Bellarmine exigía. Por otro lado el telescopio parecía rendir su primer uso práctico, ya que el primer “reloj universal”, sólo era visible a través del ojo mágico.

Galileo hizo tablas con las posiciones de los satélites de Júpiter para convertirlas en horas y minutos universales, trató de vender su sistema a los gobiernos de España y Holanda, pero sus esfuerzos fueron en vano ninguno de estos gobiernos consideró factible este sistema y Galileo no lo pudo vender.

En 1618 sus problemas con la iglesia tomaron un nuevo cariz. Nuevamente entró en polémica con el jesuita Orazio Grassi, con quien discutió acerca de la naturaleza de los cometas, Galileo trataba de explicar el fenómeno matemáticamente, lo que eventualmente se



• tradujo en la publicación de un artículo llamado *Il Saggiatore*, con el auspicio de la Academia dei Lincei, en él que sentó las bases del método científico y expresó su famosa idea de que la historia de la naturaleza estaba escrita en lenguaje matemático. La obra estaba dedicada al nuevo papa Urbano VIII quien era ni más ni menos que el ex cardenal Maffeo Barberini. La elección de Barberini como papa había llenado de gusto a Galileo y en general al mundo de la cultura. Durante su cardenalato el ahora papa había dado muestras de afecto a Galileo quien, al cobijo de esta amistad con el papa, obtuvo el *Imprimatur* que era una declaración oficial por la jerarquía de la Iglesia Católica de que una obra literaria o similar estaba libre de error en materia de doctrina y moral católica, y por ende se autorizaba su lectura por los fieles católicos. Por lo tanto Galileo se animó a publicar “*El Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo; el Tolomeico y el Copernicano*” Este era un libro muy especial porque presentaba a tres personajes, discutiendo, los puntos de vista de ambos sistemas, Simplicio era el nombre del personaje encargado de defender los puntos de vista conservadores aristotélicos aceptados por la iglesia, Mientras que Salviati, llamado así en honor de Filippo Salviati amigo de Galilei, era el personaje que personificaba al propio Galileo y defendía la nueva astronomía y los puntos de vista progresistas. Había también en el diálogo, un moderador de buena fe, representado por el personaje llamado Sagredo en honor a otro amigo llamado Giovan Francesco, La intención de Galileo con este diálogo era dar a Bellarmino las pruebas que este exigía, lamentablemente en *El Diálogo* el principal argumento para demostrar el movimiento de la Tierra estaba basado en un hecho falso sobre las mareas. El intento de Galileo no sólo fracasó sino que molestó a la Iglesia.



En la obra, Simplicio además de tener un nombre sugerentemente tonto, esgrimía alegatos torpes y su inferioridad dialéctica en comparación con Salviati lo ponía francamente en ridículo. Salviati por su parte cuyo nombre además de sugerir la idea de un salvador ganaba irremediabilmente todos los diálogos a favor de la teoría Copernicana, mientras que Sagredo por su parte identificado con el propio Galileo tomaba precavidas posturas moderadas pero finalmente parecía coincidir siempre con Salviati.

Los enemigos de Galileo se multiplicaron y convencieron al papa de que, en la obra, el propio papa estaba representado por Simplicio, quien al final del libro, expresa un argumento que ya había sido proclamado anteriormente por el propio papa. Todas estas cuestiones pusieron al autor en graves aprietos; el libro fue condenado, mientras que Galileo fue citado finalmente ante La Santa Inquisición.

A pesar de que en su defensa Galileo alegó que la teoría copernicana sólo se había usado como una hipótesis para facilitar la comprensión de los movimientos celestes, a pesar de renunciar a defenderse de las acusaciones de herejía, a pesar de su famosa retractación formal, a la que se dice que agregó “y sin embargo se mueve”, a pesar de haber obtenido el famoso imprimátur, a pesar de su amistad con el propio papa, el largo y doloroso proceso terminó en una condena a cadena perpetua. La condena se atenuó dejando que Galileo cumpliera arresto domiciliario de por vida en su casa de Arcetri, amen de obligarlo a recitar los salmos penitenciaros semanalmente, tarea que fue asumida por su querida hija Virginia quien había tomado los hábitos con el coincidente nombre de Sor María Celeste en el convento de San Mateo un convento cercano a la villa de Galileo en Arcetri, y quien cumplió piadosamente esta penitencia por su amado



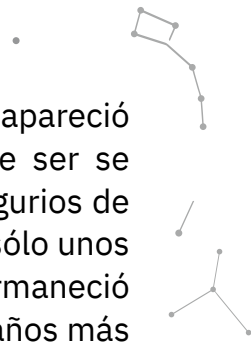
- padre hasta el día que gravemente enferma murió enclaustrada en el convento.



Galileo confinado a su arresto domiciliario había caído en depresión, su salud menguó, no obstante durante su encierro continuó estudiando, observando y escribiendo, terminó de escribir una de las más grandes obras de su vida: el “Discurso y Demostración Matemática Referente A Dos Nuevas Ciencias “ Que salió publicada en 1613, esta obra fue grandiosa, fue la piedra angular de la ciencia y en particular de la mecánica; propone los cimientos de la física como ciencia, y demuestra las leyes que gobiernan el movimiento. Con análisis matemáticos contundentes demuestra como la caída de los cuerpos en el vacío no depende de su masa, expone las ecuaciones que gobiernan el tiro parabólico en el disparo de proyectiles. Su exposición fue la base del entendimiento de la física, Newton basó todos sus estudios en este trabajo.

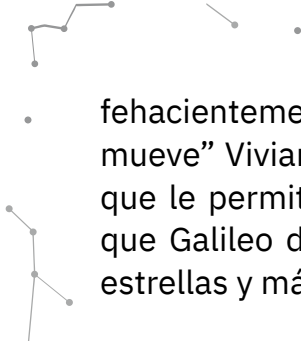
Aunque en el “Discurso” Galileo echa por Tierra conceptos aristotélicos tal como la demostración de que dos cuerpos de diferente peso caen a la misma velocidad en el vacío, esto curiosamente no le provoca ningún conflicto con la iglesia, existe la leyenda de que lo demostró lanzando, al mismo tiempo, dos objetos de diferente peso desde lo alto de la Torre de Pisa, pero esto parece ser una sólo leyenda, ya que para ese entonces, Galileo estaba confinado al arresto domiciliario, aunque cabe la posibilidad que los experimentos de caída libre se hayan realizado muchos años antes durante su estancia en Pisa y que fuera hasta entonces que los publicara formalmente en este trabajo.

En septiembre del año de 1618 apareció un cometa, Galileo estaba enfermo en cama y no pudo observarlo, pero muchos astrónomos usaron por primera vez el telescopio para ver este fenómeno que



causaba tanta polémica, ese mismo año pero en noviembre apareció otro cometa en el cielo, ni los cometas, ni su razón de ser se comprendían entonces, y siempre causaban temores, y augurios de todo tipo, dos cometas distintos aparecidos en el lapso de sólo unos meses era algo muy extraño, por segunda vez Galileo permaneció en cama enfermo sin poder observar el cometa. Y algunos años más tarde otro cometa más, el más brillante de los tres últimos volvió a encontrar a Galileo confinado a la cama por enfermedad, aunque es casi increíble que no hubiera echado cuando menos un vistazo ante la presencia de estos cometas. Muchos astrónomos sí los observaron y Galileo recibía muchas cartas y visitas de estos astrónomos que sí pudieron observar los cometas, en las cartas y durante las visitas se llevaron a cabo muchas discusiones sobre la naturaleza y razón de estos cuerpos tan interesantes, no fue hasta 1577 que Galileo estuvo en posibilidad de observar un cometa grande y brillante cruzando el cielo con su ojo mágico, pero nunca dio explicación alguna de la causa de los cometas, desde los tiempos aristotélicos se creía que los cometas eran alteraciones atmosféricas y que los cometas se incendiaban creando sus caudas a causa de la fricción con las demás esferas celestes.

El 9 de enero de 1642, bajo arresto domiciliario, artrítico, cansado y casi ciego, con la única compañía de sus discípulos Vincenzo Viviani y Evangelista Torricelli murió el hombre que dio al mundo el ojo mágico. La herencia científica que dejó a sus discípulos impulsó luego a Torricelli a estudiar los efectos de la presión atmosférica y la conservación de la energía. Por su parte Viviani además de ser un gran matemático, desarrolló con Galileo la idea de usar un péndulo para hacer funcionar un reloj, por lo que se sabe que ellos ya habían intuido las ecuaciones del péndulos, paradójicamente años más tarde un gran péndulo, el péndulo de Foucault, demostraría



- fehacientemente que la Tierra gira sobre su eje “y sin embargo se mueve” Viviani escuchaba mucho a Galileo y de él heredó los datos que le permitieron escribir su biografía. Pero la herencia científica que Galileo dejó a la humanidad impulsó al ser humano hasta las estrellas y más allá.

Thycho

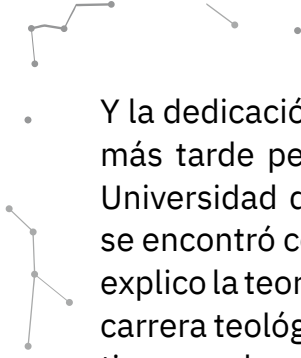
Tycho Brahe miembro de la nobleza danesa, es un personaje importante para la historia y la astronomía de muy joven presencié un eclipse de Sol, en 1560, quedó tan impactado por el suceso que decidió dedicarse a la astronomía, aunque en principio estudiaba derecho y filosofía comenzó a estudiar astronomía por su cuenta y luego se dedicó por toda su vida a la ciencia. Él observó un cometa y trató de explicarlo, sus observaciones le indicaban que el fenómeno estaba cercano y no en las esferas planetarias, lo que también contradecía la inmutabilidad de la esfera celeste donde están las estrellas que se creía fijas, aunque oficialmente, y por influencia de su familia, el joven Brahe estudiaba derecho y filosofía, comenzó a estudiar la astronomía por su cuenta y luego se dedicó toda la vida a la ciencia. Tycho fue muy famoso, el rey Federico II, le concedió una renta mensual, le construyó su famoso observatorio llamado Uraniborg, y hasta le regaló una isla. Brahe equipó el observatorio con el mejor equipo de su tiempo, aunque no con un telescopio pues todavía no existían. Pero sí tuvo los mejores instrumentos y el famoso cuadrante colosal en la pared de su observatorio que le sirvió para hacer las mediciones más precisas que nunca antes se hubieran hecho. Convencido de que para entender el cielo debía hacer muchas mediciones precisas del movimiento de los planetas, continuó observando metódicamente hasta que logró determinar las perturbaciones en sus órbitas y corregir muchos de sus parámetros.

Paradójicamente una mente tan brillante como la de Tycho, creía fielmente en la astrología y la adivinación, y pensaba que las guerras, los desastres y las epidemias se podían explicar o predecir con las conjunciones y posiciones de los astros en el zodiaco.

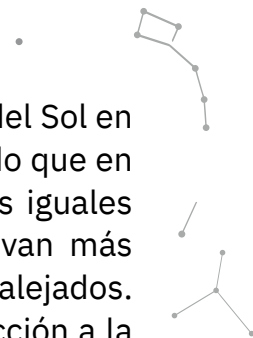
Al morir Federico II, Tycho perdió el apoyo del monarca y abandonó su patria danesa, sin embargo se fue a Praga bajo la protección del emperador Rodolfo II, quien compartía su inclinación por la astrología y la adivinación. El emperador lo nombró matemático de la corte, y lo mantuvo cerca para propósitos adivinatorios y astrológicos, fue entonces que estando en Praga invitó a Kepler a encontrarse con él, en poco tiempo se entendieron muy bien, al grado que Tycho hasta compartió sus tablas y datos observados que había traído desde Dinamarca, y que, por su precisión eran un verdadero tesoro. Tycho no disfrutó de la observación a través del telescopio, pero dejó un invaluable legado de datos y observaciones que más tarde sirvieron para realizar cálculos mucho más precisos de los movimientos y las posiciones celestes, y para confirmar la teoría heliocéntrica y mejor aún, le permitieron a Kepler enunciar sus famosas leyes. Tycho Brahe murió en 1601 pocos años antes de que Galileo desarrollara el telescopio.

Kepler

Johanes Kepler, por su parte había nacido el 21 de diciembre de 1571 en Würtemberg fue criado por sus abuelos en Alemania después de superar varias enfermedades en su infancia llegó a ser Astrónomo, matemático y físico. Su padre fue un mercenario y su madre sospechosa de practicar la brujería, Johannes Kepler superó estos problemas de la niñez gracias a su inteligencia.



Y la dedicación al trabajo. Estudió en un seminario primero y en otro más tarde pero después por fortuna para la ciencia, ingresó en la Universidad de Tübingen en 1588, para estudiar teología, pero ahí se encontró con un discípulo de Copérnico que le enseñó ciencias, le explico la teoría geocéntrica, y Kepler la entendió. Por lo pronto dejó la carrera teológica para aceptar un empleo como profesor de matemáticas en el seminario protestante de Graz. Ahí en Graz, se concentró en estudiar los problemas relacionados con las órbitas planetarias, así como las velocidades variables de las mismas. Razones políticas lo obligaron a emigrar de Austria; a Praga donde en 1600 tuvo lugar su encuentro con Tycho, posteriormente Kepler sustituyó a Tycho en el puesto de matemático real de Rodolfo II, su tarea era fascinante: tenía que terminar, las tablas astronómicas de su predecesor, aunque, para conservar el puesto, también tuvo que continuar con la farsa astrológica que Rodolfo le exigía, aunque Kepler no predijo ni la muerte del emperador, ni la de Susana, su esposa que lo dejó viudo. Al morir el emperador, Matías, su sucesor y hermano, mandó a Kepler a Linz como profesor, y más tarde se mudó a Ulm lugar donde años más tarde naciera Einsten, y donde por fin publicó las tablas iniciadas por Tycho, a las que llamó; “Tablas Rudolfinas” en honor a Rodolfo II. Mientras Kepler estuvo en Praga con Tycho analizó la óptica del telescopio y explicó su funcionamiento, está fue la primera explicación congruente que hubo de la refracción de la luz, además sugirió el comportamiento de la óptica geométrica. Con los datos de Tycho analizó los movimientos de los planetas y descubrió dos hechos que desembocaron en la promulgación de sus dos primeras leyes: el primero era que los planetas giraban en torno al Sol pero no en órbitas circulares sino en órbitas elípticas y que el Sol estaba en uno de los focos de la elipse, y el segundo que los planetas van más rápido cuando la trayectoria elíptica de sus órbitas los lleva a estar más cerca del Sol que cuando están más lejos. Con estos hechos decretó las dos primeras leyes ahora conocidas como las leyes de



Kepler diciendo: primero que los planetas giran alrededor del Sol en órbitas elípticas en uno de cuyos focos está el Sol y segundo que en su recorrido con respecto al Sol los planetas barren áreas iguales en tiempos iguales. Esta fue la forma de expresar que van más rápido mientras están cerca del Sol que cuando están más alejados. Todo esto representaba una vez más una terrible contradicción a la perfección aristotélica que se aferraba a pregonar sólo movimientos circulares perfectos con velocidades constantes, y sobre todo que todo el universo debía girar alrededor de la Tierra.

En Linz enunció su tercera ley de que determina la relación que hay entre el periodo de traslación de un planeta y su distancias medias al Sol la que publicó en 1619 y consideró que está relación demostraba una armonía de la naturaleza, la tercera ley de Kepler establece que el cuadrado de los periodos es proporcional al cubo de sus distancias, y escondía en ella la razón de ello que es ni más ni menos que ¡la gravitación universal! Para entonces Kepler ya contaba con un telescopio cuyo diseño él mismo había modificado y sugerido, las maravillas del cosmos estaban más cerca de su fantástica capacidad de análisis y maravillosa intuición, el ojo mágico estaba formalmente en el camino de generar ciencia y descubrir la verdad. Kepler, murió en 1628 dejando al mundo con los ojos abiertos para ponerlos detrás del telescopio.

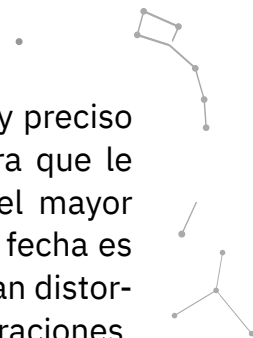
Para el año de 1667, los telescopios habían mejorado mucho su sistema óptico desde Galileo, pero el hecho de tener la lente principal u objetivo en el extremo superior lejano hacía que el centro de gravedad quedara lejos del punto de apoyo, no se podía evitar la vibración y en consecuencia se dificultaba mucho tanto la observación así como la manipulación del telescopio, la imagen vibraba mucho cada vez que se tenía que mover el instrumento ya sea para apuntar



- a un objeto, cambiarlo de región celeste, o para seguir el aparente movimiento de los astros causado por la rotación de la Tierra. Galileo apoyaba su telescopio en soportes para estabilizarlo mientras observaba mientras que Kepler usaba los primeros trípodes, más tarde Newton se las ingenió para colocar su telescopio sobre una esfera, que le permitía moverlo en todas direcciones con una estabilidad relativamente buena, el soporte y montura de los telescopios representa toda una tecnología que se fue desarrollando poco a poco a la par con el propio telescopio, entre más grandes y precisos eran los telescopios, más difícil era apoyarlos, para mantenerlos estables y sobre todo para compensar el movimiento de rotación de la tierra los ingenieros trabajando junto con los astrónomos han desarrollado sistemas cada vez más preciso y estables para soporte y guiado de telescopios



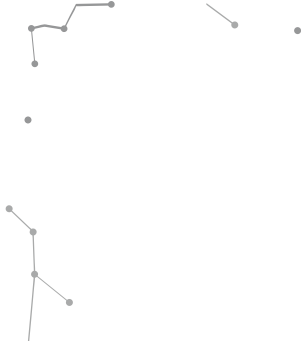
El efecto de la rotación de la Tierra hace que los objetos se salgan del campo de visión de un telescopio a medida que la Tierra gira, este efecto que por una parte molestaba a los observadores del cielo, estaba intrínsecamente demostrando la rotación de la Tierra, y es una interesante y emotivamente bella experiencia cuando se ve por primera vez a través de un telescopio que no tiene sistema de guiado automático, ya que si el telescopio se dirige, por ejemplo a la Luna, y se observa su imagen por unos segundos, al poco tiempo se notará que la imagen de la Luna se desplaza sobre el campo de visión del telescopio hasta que se sale por completo, la razón de esto es que al girar la Tierra va dejando atrás la posición en la que habíamos apuntado el telescopio, lo que observamos parece indicarnos que es la Luna la que se mueve, pero no; lo que sucede es que estamos siendo testigos del movimiento de rotación de la Tierra, como nunca antes lo habíamos experimentado, y esta es una de las sensaciones más agradables que cualquier persona puede experimentar al asomarse por ojo mágico. Los telescopios modernos tienen un sistema de guía



que con un motor, y un con un mecanismo de relojería muy preciso mueven el telescopio a una lenta velocidad de tal manera que le permite compensar la rotación de la Tierra. Pero quizá el mayor problema de los telescopios durante esa época, y hasta la fecha es que los telescopios como cualquier sistema óptico presentan distorsiones en la imagen, estas distorsiones se llaman aberraciones, la ciencia óptica lucha constantemente contra ellas para lograr imágenes cada vez mejores, sin embargo las aberraciones están presentes en todo sistema óptico.

El telescopio es un ojo mágico creado por el hombre y por lo tanto no es perfecto, sin embargo es perfectible, El telescopio comenzó su proceso de perfeccionamiento cuando la óptica se desarrolló, y no ha dejado de perfeccionarse hasta la fecha, acompañado de los desarrollos mecánicos para su montura y más tarde del desarrollo de la computación para su mejor manejo, y la detección y amplificación de las imágenes que produce, nunca se detiene en su proceso de mejora. Desde el simple telescopio de Galileo hasta los más modernos telescopios, la ciencia y la tecnología aunadas a la curiosidad humana continúan convirtiendo al telescopio en un ojo mágico cada vez más poderoso y eficiente, con capacidades de ver lo nunca antes visto, el ojo mágico del hombre se ha convertido en su mejor aliado para descubrir los misterios del universo y es la ventana al cielo de la imaginación y el conocimiento humano.

Diógenes Laercio cuenta que en cierta ocasión alguien preguntó a Pitágoras cuál era la razón de la existencia del ser humano; el legendario matemático rompió en llanto y dijo: “De todas las criaturas del mundo, sólo el hombre contempla el cielo; busca ahí el número y la razón de su ser”. Ciertamente, somos la única especie en la Tierra que estudia y observa el cielo. Buscando la razón de nuestra existencia, y hemos descubierto que en realidad...somos polvo de estrellas.



AMOR CONSTANTE MÁS ALLÁ DE LA MUERTE

Cerrar podrá mis ojos la postrera
Sombra que me llevare el blanco día,
Y podrá desatar esta alma mía
Hora, a su afán ansioso lisonjera;

Mas no de esotra parte en la ribera
Dejará la memoria, en donde ardía:
Nadar sabe mi llama el agua fría,
Y perder el respeto a ley severa.

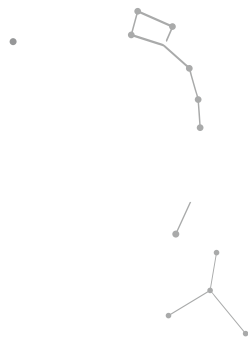
Alma, a quien todo un Dios prisión ha sido,
Venas, que humor a tanto fuego han dado,
Médulas, que han gloriosamente ardido,

Su cuerpo dejará, no su cuidado;
Serán ceniza, mas tendrá sentido;
Polvo serán, mas polvo enamorado.

*Francisco de Quevedo y
Villegas contemporáneo de Galileo*



CA PÍ TU LO 2



LAS ABERRACIONES

Las aberraciones son deformaciones que las lentes provocan al formar imágenes, un sistema óptico cualquiera, ya sea una simple lente, un microscopio, una cámara fotográfica, un proyector o un telescopio todos ellos tienen la función de formar la imagen de un objeto, lo más parecida al objeto, y por supuesto con la menor distorsión posible. Para explicar la formación de imágenes, un sistema óptico se puede considerar como una caja negra compuesta de lentes, espejos, prismas etc. Que recibe la luz del objeto por un lado, la luz entra en la caja negra y sale formando la imagen del objeto en un plano por otro lado, de manera que podemos considerar que el sistema óptico recibe los rayos de luz de todos y cada uno de los puntos que forman el objeto, llamados puntos objeto, y a través del sistema óptico transforma a todos y cada uno de ellos en puntos que forman la imagen, llamados puntos imagen, para así, formar punto por punto, la imagen correspondiente del objeto, la imagen formada generalmente cumple con un propósito, puede ser más grande, o aparentemente más cercana, y se forma en un plano que se llama plano focal, para que la imagen sea perfectamente correspondiente



- al objeto se necesita entonces, que todos los rayos de luz pasen por el sistema óptico y lleguen a formar la imagen al punto adecuado sin distorsión alguna. En otras palabras se requiere que el sistema compuesto por lentes, espejos o lo que sea que forme el sistema óptico, produzca buenas las imágenes bien enfocadas, o sea que los rayos incidentes que provienen del objeto pasen por el sistema óptico y se reúnan nuevamente todos ellos en el plano focal del sistema, el conjunto de todos los rayos enfocados forma la imagen del objeto en el plano focal. Pero el objeto está en el espacio y es un cuerpo sólido de tres dimensiones, mientras que la imagen está en un plano de solo dos, si este plano focal, ya sea de un complejo sistema óptico o de una simple lente, no es perfecto, se presentarán distorsiones en la imagen, estas distorsiones reciben el nombre de aberraciones.



El telescopio es un sistema óptico que realiza precisamente la función de recolectar la luz de los objetos lejanos y formar una imagen de ellos en un plano focal, esta imagen, es entonces, observada con el ojo, ya sea a través de otro sistema óptico que se llama ocular, se puede fotografiar o grabar en un sistema electrónico de almacenamiento de datos, también se puede proyectar la imagen en una pantalla y hasta ver a simple vista, el sistema óptico de los telescopios, tiene como función principal recolectar la mayor cantidad de luz procedente de los objetos más lejanos y débiles del cielo como lo son las estrellas, planetas, galaxias, nebulosas etc. Y formar imágenes de los mismos con la mayor precisión y aprovechando hasta el último fotón de la débil luz que reciben, el primer telescopio de Galileo lo hacía con dos simples lentes; una lente convexa o positiva como una lupa y una lente cóncava o negativa.

La lente convexa llamada positiva recibe los rayos de luz del objeto, como estos rayos vienen de muy lejos ya se pueden considerar como rayos paralelos, la lente entonces los dobla para concentrarlos en el

foco, tal como lo hace cualquier lupa común, sin embargo antes de que todos estos rayos lleguen al foco, una segunda lente cóncava llamada negativa vuelve a abrir los rayos de luz de forma tal que los hace que lleven nuevamente una trayectoria paralela sólo que esta vez ya están más compactados o concentrados en un área más pequeña, y este nuevo haz de luz concentrado sale del sistema óptico llamado telescopio hacia el ojo humano, ahí mismo el cristalino que no es sino la lente propia de nuestro propio ojo forma la imagen del objeto en la retina, el nervio óptico convierte esta imagen en señales de tipo eléctrico enviándolas al cerebro, que sorprendido por la maravilla de la imagen que el telescopio ha sido capaz de producir la interpreta cabalmente, con la impresión de que todo se ve más cerca y se realiza la conexión entre la gran magia del telescopio y la maravilla natural del ojo y el cerebro humano.

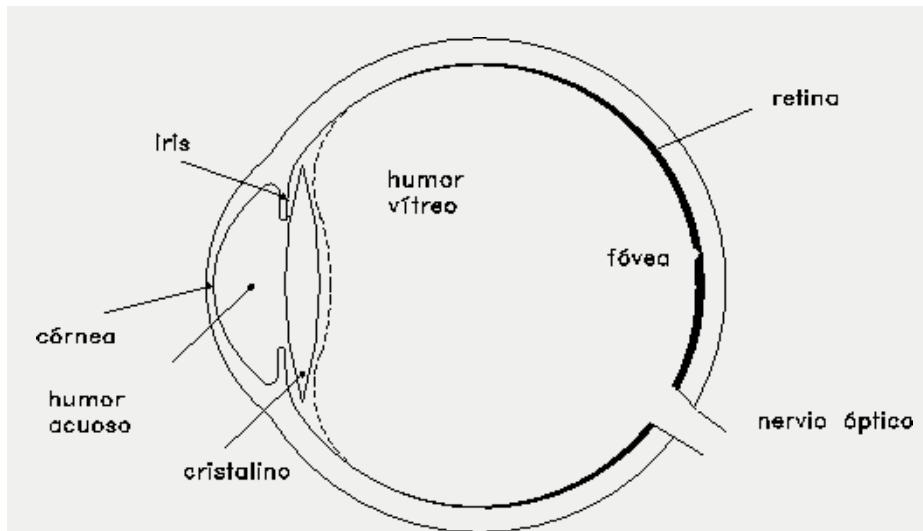


Fig.5 El ojo humano.

Más tarde Kepler mejoró el diseño galileano usando una lente positiva como ocular, la función de la lente positiva es, como en el caso del diseño de Galileo, sacar los rayos paralelos pero ahora lo hace una vez que estos se han cruzado por el foco del objetivo, lo que produce una mayor amplitud al campo visual, aunque genera una imagen invertida para el ojo humano, lo que puede ser molesto para observar imágenes de objetos en la tierra, pero para la observación astronómica no tiene gran importancia, sin embargo aporta el beneficio de un campo de observación más amplio.

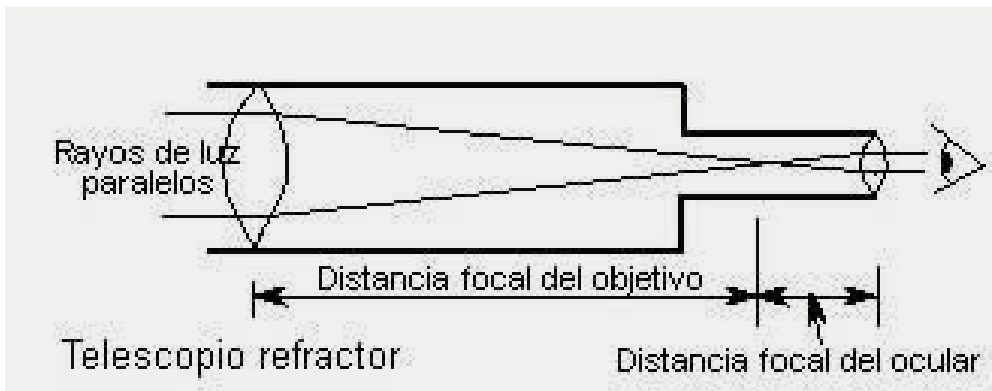
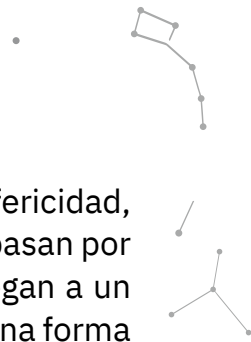


Fig. 6 Telescopio Kepleriano con ocular convexo.

Los diferentes tipos de telescopios fueron poco a poco produciendo mejores imágenes que las que producía el primer telescopio de Galileo, no obstante todos los sistemas ópticos están sometidos a la acción deformadora de imágenes del propio sistema, las aberraciones están presentes en todos los sistemas ópticos incluso en el ojo humano, hay varios tipos de aberraciones, corregirlas es una tarea difícil para los ingenieros y científicos que se dedican a la ciencia óptica, los sistemas modernos cuentan con un buen número de lentes que corrigen las aberraciones lo mejor posible



Aberración de esfericidad

La primera de estas aberraciones es la aberración de esfericidad, consiste básicamente en que no todos los rayos de luz que pasan por una lente curvada, o que se reflejan en un espejo curvo llegan a un mismo foco, esto es debido a que la superficie óptica tiene una forma básicamente esférica, de ahí su nombre. En la época de Galileo sólo se podían tallar y pulir superficies esféricas de lentes o espejos, esta esfericidad de la superficie provoca que los rayos que pasan más lejos del centro de la lente, o que, en el caso de espejos esféricos se reflejan más lejos del centro del espejo, y que se llaman rayos marginales, se enfoquen en un lugar diferente a los rayos que pasan cerca del centro de la lente, o se reflejan cerca del centro del espejo a los que se les da el nombre de rayos paraxiales, por el hecho de estar cerca del eje, el resultado de esta aberración es que los rayos paraxiales van a dar a un foco llamado foco paraxial mientras que los rayos marginales lo hacen en el foco marginal, y por tanto la imagen producida por todos los rayos, tanto los paraxiales como los marginales se forma en una esfera, en lugar de formarse en un plano, por lo que la imagen no se puede ver correctamente ni con el ocular ni con el ojo. A pesar de que el cerebro puede corregir este defecto un poco, la aberración de esfericidad es molesta al observador, y es fatal cuando se trata de fotografiar la imagen aberrada esféricamente.

La aberración de esfericidad aumenta con el cubo del diámetro del objetivo, lo que significa que entre más pequeño es el diámetro del lente o espejo objetivo, la aberración de esfericidad se reduce mucho, y eliminando los rayos paraxiales con un diafragma la aberración de esfericidad se reduce, sin embargo lo que queremos en un telescopio es tener un objetivo muy grande para recoger la mayor cantidad de la débil luz que viene del firmamento. Al hacer superficies más y más grandes para recolectar más y más luz, estamos provocando

una aberración que aumenta no sólo más y más sino con el cubo del diámetro, es decir, que si queremos aumentar el diámetro de nuestro objetivo al doble, la aberración de esfericidad aumentará ocho veces porque dos al cubo es ocho, y si quisiéramos aumentar tres veces el diámetro del objetivo la aberración aumentaría a ¡veintisiete veces! La solución a este problema no fue fácil, pero cuando se lograron fabricar superficies ópticas con formas parabólicas, elípticas e hiperbólicas, el problema de esfericidad se redujo, a estas formas se les llama, secciones cónicas, por que se desprenden de cortes hechos a conos, y sus propiedades geométricas son excelentes para desarrollar ópticas libres de aberración de esfericidad.

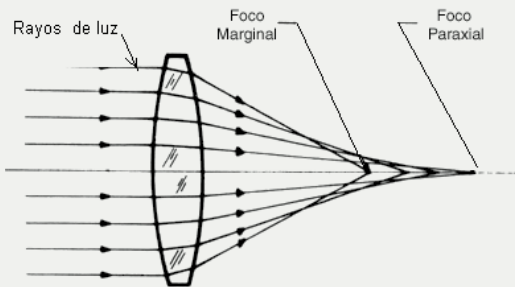


Fig. 8 Aberración de esfericidad en una lente.

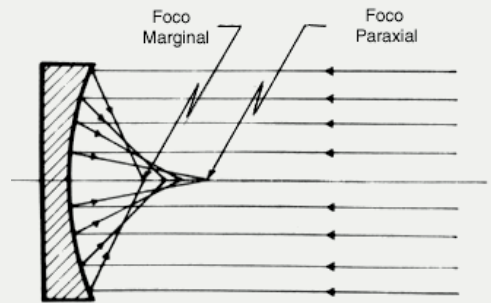


Fig. 7 Aberración de esfericidad en un espejo.

Por ejemplo; una sección parabólica tiene la propiedad geométrica de reflejar todos los rayos paralelos que recibe del infinito a un solo punto llamado foco, sin importar que sean rayos paraxiales, o marginales, mientras que por su parte una elipse siempre refleja todos los rayos procedentes de uno de sus focos exactamente al otro foco. Las propiedades de estas superficies son de carácter puramente geométrico y se adaptan perfectamente a las necesidades ópticas.

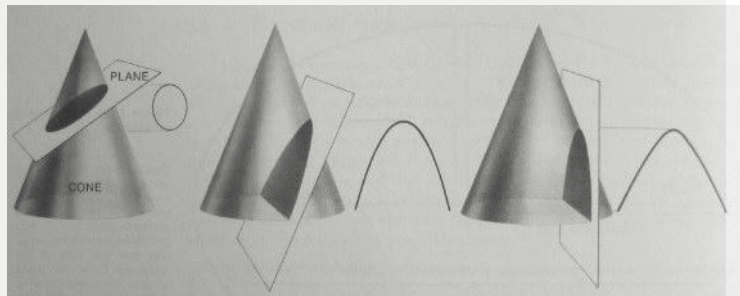


Fig. 9 Generación de secciones cónicas.

De manera que el tallado y pulido de lentes y espejos se fue perfeccionando para poder producir, probar y medir superficies de este tipo llamadas superficies an-esféricas. Al sustituir la lentes o espejos de superficies esféricas por lentes o espejos talladas como superficies an-esféricas, la aberración de esfericidad se reduce tanto como la calidad y precisión del pulido de las superficies ópticas lo permitan. Sin embargo la fabricación de superficies de secciones cónicas no fue posible hasta mucho tiempo después, cuando las técnicas de tallado y pulido para los vidrios se refinaron, pero sobre todo cuando se pudieron desarrollar métodos para probar y comprobar que las superficies alcanzaban la forma y precisión requeridas, ya que en el tallado y pulido de superficies ópticas se requiere trabajar con precisiones que están en el orden de la longitud de onda de la propia luz, así que los métodos para medir y comprobar las superficies talladas tienen que usar a la propia luz como instrumento de medición.

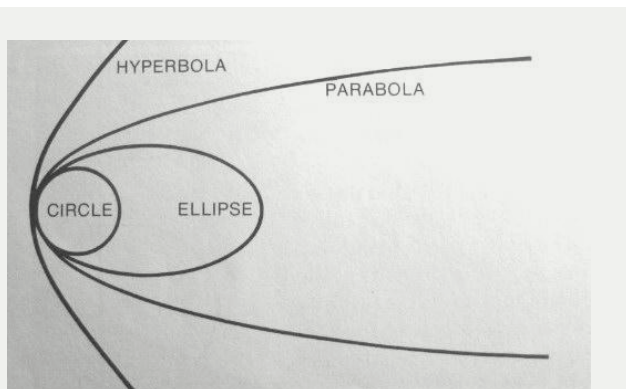


Fig. 9 Curvas cónicas.

Aberración de coma

Para entender mejor las aberraciones, es necesario darse cuenta que aunque representamos los rayos de luz llegando y saliendo de las lentes en la superficie de un papel, el papel es sólo un vista de en un plano corte de lo que realmente sucede, ya que la lente recibe los rayos en tres dimensiones, y no sólo sobre el plano del papel, la lente recibe como un chorro de rayos en las tres dimensiones, con el rayo axial siendo común a todos los planos, nosotros sólo dibujamos un plano en el papel para representar la trayectoria de los rayos en ese plano, pero entendemos que los rayos vienen de todos los planos. Al plano correspondiente al papel lo llamamos plano tangencial mientras que al plano perpendicular lo llamamos plano sagital, si todos los rayos tangenciales no llegan al mismo punto común, la imagen de un punto se verá como si fuera una coma, y este error o aberración aumenta con el cuadrado de la distancia que hay al rayo axial, que es el del centro común a todos los rayos.

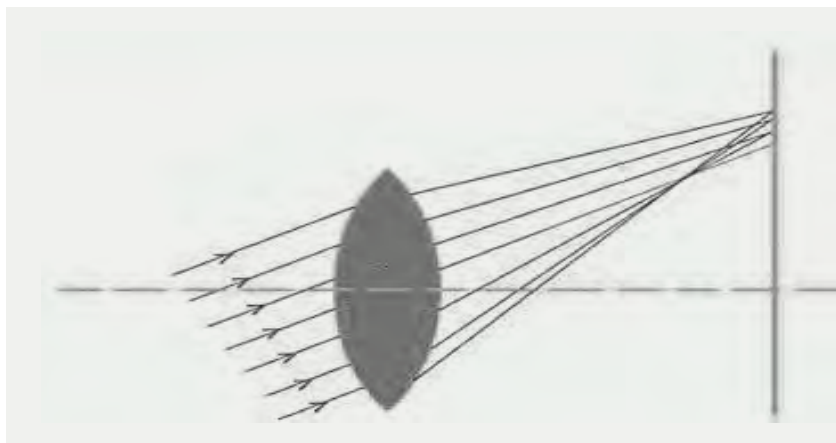
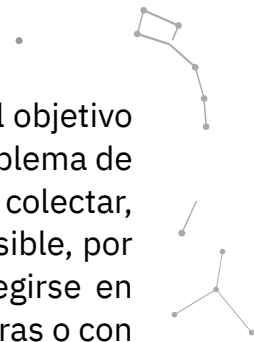


Fig., 10 Aberración de coma.



Nuevamente, la aberración de coma se reduce en cuanto el objetivo es más pequeño, pero nuevamente nos enfrentamos al problema de que entre más pequeño es el objetivo menos luz podemos coleccionar, y lo que queremos es coleccionar la mayor cantidad de luz posible, por lo tanto los objetivos de los telescopios tienen que corregirse en este sentido para evitar la coma, ya sea con lentes correctoras o con superficies de mejor calidad en todos los planos.

Aberración de astigmatismo

La aberración de astigmatismo se produce cuando los rayos sagitales y los tangenciales tienen diferente foco y crean distancias focales distintas. En el plano donde se forma la imagen llamado plano focal se forman círculos en lugar de puntos, se espera que un buen sistema óptico forme una imagen de puntos, llamadas imágenes puntuales, los círculos formados cuando existe astigmatismo son alargados en una dirección particular. El astigmatismo también es un defecto que se produce cuando el ojo humano, crea imágenes alargadas, que el cerebro se encarga de componer según su concepto preconcebido del objeto que observa, es decir, si una persona con astigmatismo ve una pelota redonda la imagen que su ojo astigmático produce será de una pelota ovoidea, pero en el cerebro existe ya el concepto de que las pelotas son redondas y el propio cerebro modifica la percepción de la imagen para convertirla en la imagen de una pelota redonda, en este proceso el exceso de trabajo que asume el cerebro al estar



- componiendo imágenes alargadas en una dirección durante todo el tiempo desencadena dolores de cabeza, unos anteojos corregidos en astigmatismo componen la imagen para que el cerebro descanse y el problema se soluciona. El astigmatismo que se presenta en los oculares de los telescopios aumenta linealmente con el tamaño del objetivo, aunque con el cuadrado de la distancia de la imagen al eje óptico o centro del sistema. Una vez más se presenta el compromiso entre la abertura, que es el diámetro del objetivo, y la aberración, por lo que es necesario corregir o evitar el astigmatismo, para lograr imágenes puntuales.



Curvatura de campo

La aberración de curvatura de campo es interesante ya que aún cuando los puntos del objeto corresponden bien a los puntos de la imagen sucede que la imagen no se forma sobre un plano sino sobre la superficie curva de una esfera, así es precisamente como lo hacen nuestro propios ojos, que forman imágenes sobre las superficies esféricas de cada una de nuestras retinas, luego el cerebro se encarga de interpretar estas dos imágenes curvas como una sola imagen perfecta y la unión de las dos imágenes producidas por cada uno de nuestros ojos, permite al cerebro componer una sola imagen de tres dimensiones. En cambio en un telescopio que hasta ahora no cuenta un cerebro corrector de defectos, la formación de una imagen curva no permite que el ocular la enfoque bien, pues o se enfoca el centro o se enfoca la periferia, pero no se puede enfocar la imagen completa ya que está en un plano curvo. Para corregir esta aberración, necesario colocar una lente aplanadora de campo, lo que nos lleva a aumentar el número de lentes, esto no sólo agrega peso al sistema sino que además hace que la luz tenga que pasar por una



mayor cantidad de vidrio, en cada paso de la luz del aire al vidrio y viceversa, se pierde un pequeño porcentaje de la luminosidad, ya sea porque una parte de la luz se refleja creando imágenes fantasmas perdidas o parásitas y porque otra parte de la energía luminosa se absorbe en el vidrio del que están hechas las lentes.

Distorsión

La siguiente aberración se llama de distorsión, es la que menos afecta a los telescopios porque lo que hace es cambiar ligeramente la forma de las imágenes, puede ser que, por ejemplo, un cuadrado se vea con sus lados rectos un poco redondeados, esta distorsión es pequeña en cuanto menos lentes formen el sistema óptico, pero puede ser de importancia si lo que se quiere es obtener posiciones precisas de las estrellas, o mediciones de distancias angulares, un sistema sencillo compuesto de una o dos lentes presenta muy poca aberración de distorsión.

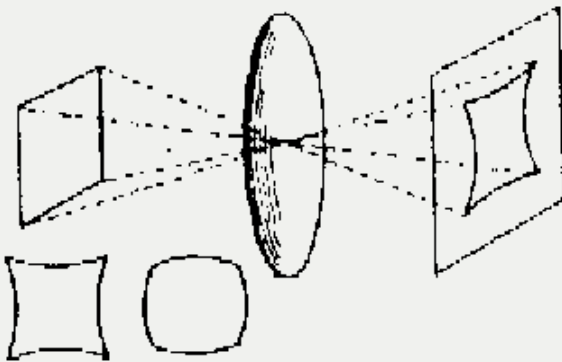


Fig. 11 aberración de distorsión.

Cromática

Las aberraciones cromáticas por otra parte sí son de particular importancia en los telescopios, se generan porque los rayos de luz se doblan o quiebran cada vez que pasan de un medio como el aire a otro medio como el vidrio, esta es la característica de la luz se llama refracción y es justamente este fenómeno de refracción lo que permite que las lentes formen imágenes al doblar los rayos de luz y hacerlos converger en el foco. Sin embargo tal y como sucede en un prisma, los diferentes colores que componen la luz se refractan con diferentes ángulos, así la luz de color azul se refracta más que la roja, y las curvaturas y orillas de las lentes actúan como prismas que refractan los diferentes colores de la luz con diferentes ángulos, dando como resultado que cada color se concentra en diferentes focos, ya sean axial o lateralmente. Los puntos de la imagen aparecen entonces como pequeños arco iris de colores en lugar de ser puntos del color original.

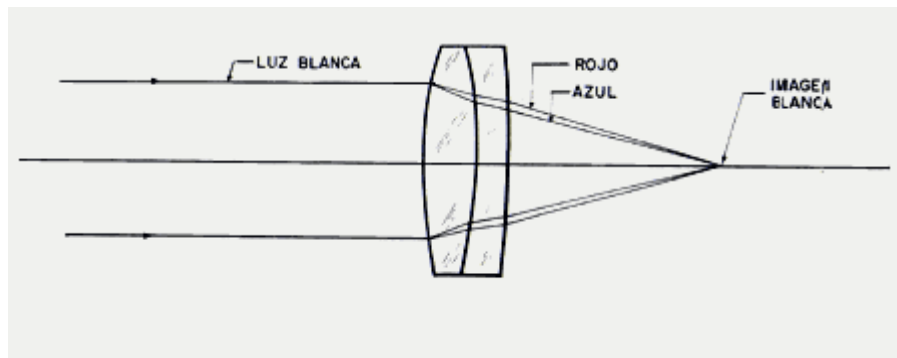


Fig. 12 Lente doble acromática o doblete.

La ingeniosa solución a esta aberración está en hacer una lente doble con vidrios de composiciones diferentes que tienen diferentes índices de refracción, para así compensar la manera en que los colores se

refractan logrando que todos los colores lleguen al mismo foco, este tipos de lentes se llaman dobletes pues están compuestos de una lente positiva de un tipo de vidrio con un cierto índice de refracción pegada con un pegamento transparente a otra lente generalmente negativa con un índice de refracción que compensa el error de la lente positiva, en ocasiones es necesario unir hasta tres lentes de diferentes índices de refracción para eliminar la aberración de croma, los dobletes y tripletes son de vital importancia en la construcción de telescopios que usan lentes para enfocar la luz basando su principio en el fenómeno de refracción, y que reciben por eso el nombre de telescopios refractores.

Corregir las aberraciones, mejorar las imágenes, aumentar el campo de visión requiere de más y más lentes correctoras, aplanadoras y dobletes, consecuentemente al aumentar el número de superficies que tienen que atravesar los rayos de luz, aumentan las reflexiones parásitas y la pérdida de luminosidad, además el sistema se hace más pesado, por eso, llegó el momento en que fue necesario crear un nuevo diseño de telescopio que permitiera resolver estos problemas.

La solución al nuevo diseño del telescopio cayó en las manos del genio de Isaac Newton. En 1668 Newton dilucidó que en lugar de hacer pasar la luz a través del vidrio de las lentes, era mejor reflejarla en espejos, cuya superficie reflectora cubierta con una delgada capa de plata debía estar hacia la cara que recibe la luz para así aprovechar toda la energía luminosa, evitando que los rayos de luz tuvieran que entrar al vidrio donde se perdería energía.



CA PÍ TU LO

3

de Newton



La solución al nuevo diseño del telescopio cayó en las manos del genio de Isaac Newton. En 1668 Newton dilucidó que en lugar de hacer pasar la luz a través del vidrio de las lentes, era mejor reflejarla en espejos, cuya superficie reflectora cubierta con una delgada capa de plata debía estar hacia la cara que recibe la luz para así aprovechar toda la energía luminosa, evitando que los rayos de luz tuvieran que entrar al vidrio donde se perdería energía. Así nació el telescopio reflector, ya que reflejaba la luz en una superficie óptica en lugar de atravesar el vidrio de las lentes. Newton Comenzó por estudiar las reflexiones en espejos y llegó a establecer las leyes que, las rigen, además desarrolló la técnica para tallar y pulir un espejo cóncavo con forma casi parabólica, el cual era capaz de concentrar todos los rayos en un sólo foco, eliminado así la aberración de esfericidad, con esto logró además reducir la cantidad de lentes necesarias para corregir las aberraciones, y en consecuencia el peso del telescopio de este tipo se redujo notablemente, y lo más importante, al colocar el espejo en la parte más baja del telescopio el centro de masa quedó mucho más abajo haciéndolo mecánicamente más estable. El primer telescopio reflector de Newton, tenía un espejo con un diámetro de apenas 33 milímetros. A partir de este diseño a este tipo

de telescopios que reflejan la luz en espejos en lugar de refractarla por lentes, se les denomina telescopios reflectores. Los que siguen ese esquema particular de Newton, se llaman, en consecuencia, telescopios newtonianos.

El diseño de Newton consiste en un espejo parabólico, llamado espejo primario que aprovecha la maravillosa propiedad geométrica de la parábola para concentrar la luz en un foco, este foco queda justamente en la trayectoria de la propia luz entrante, y por lo tanto no se podría observar ahí mismo, sin estorbar el paso de la luz entrante, de no ser porque un segundo espejo plano colocado en diagonal poco antes del foco desvía la luz hacia un lado exterior, fuera del paso de los rayos de luz entrantes, y permite, entonces, colocar el ocular ahí, fuera de la trayectoria de la luz entrante, para así observar la imagen formada por el espejo primario parabólico. El genial diseño de Newton se sigue usando como base para todos los telescopios reflectores en la actualidad, los más grandes alcanzan diámetros de hasta 10 metros.

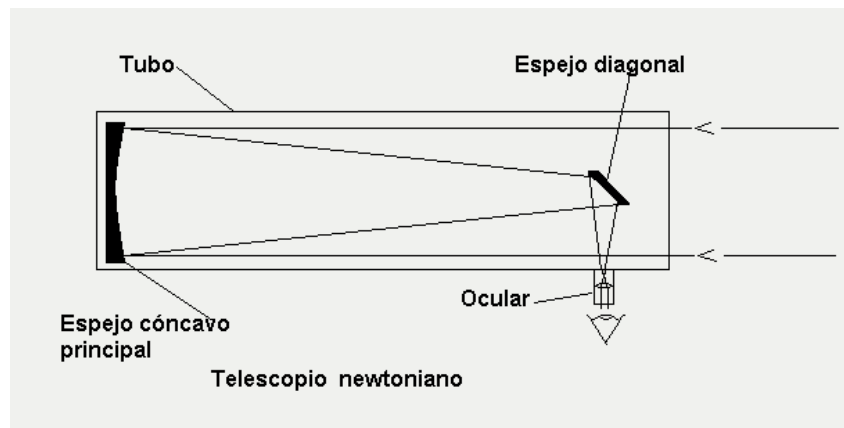
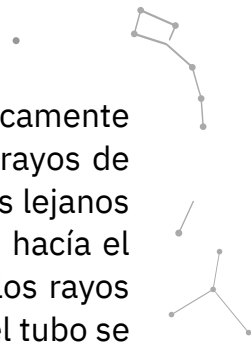


Fig. 13 Diagrama del telescopio Newtoniano.



En la configuración del telescopio de Newton está intrínsecamente presente un asunto de suma importancia; que es que los rayos de luz que llegan al espejo primario procedentes de los objetos lejanos como las estrellas, se reflejan en el espejo primario, y van hacia el espejo diagonal que los hace salir del tubo y del paso de los rayos entrantes, entonces hay un punto en que al ir hacia fuera del tubo se encuentran y se cruzan con más rayos de luz entrante, de manera que si la luz estuviera compuesta de partículas, como Newton creía, las partículas entrantes al espejo primario chocarían con las salientes de la diagonal, y de acuerdo a la propia mecánica de Newton, las colisiones provocadas por las partículas de luz debían provocar desviaciones e interferencia de los rayos. Esto no sucede así, sino que cada rayo de luz atraviesa al otro sin sufrir ningún choque, desviación o perturbación alguna. Un buen experimento es cruzar dos haces de luz de distintos colores y comprobar que el cruce no les afecta, cada haz, sale del cruce sin perder su color ni combinarse con el color del otro haz. Newton explicó esto considerando que la interferencia o los choques de las partículas se compensaban a sí mismos para no afectar el resultado final, pero es muy posible que ni él mismo haya creído semejante coincidencia casual. Sin embargo hoy en día el fenómeno se explica perfectamente si se considera que la luz está formada de ondas pues las ondas se cruzan entre sí sin afectarse para nada, y continúan imperturbables su camino después del cruce. Así que el propio diseño de Newton fue la primera evidencia manifiesta de la naturaleza dual de la luz, que se comporta tanto como partículas pero también como ondas.

La vida de Newton fue interesante en muchos aspectos, comenzando con su fecha de nacimiento; pues oficialmente nació en la navidad de 1642 en Gran Bretaña, donde se mantenía el Calendario Juliano, sin embargo en la Europa católica ya se había adoptado el Calendario



- Gregoriano que corregía una antigua discrepancia acumulada por los años bisiestos, así que su fecha de nacimiento no es la misma para los diferentes países de Europa. Newton tenía una gran afición por los aparatos mecánicos, le gustaba hacer sus propias cosas, él mismo talló y pulió el espejo de su telescopio, para lo cual utilizó materiales como el carborundo, el galipote, la brea, el pez, algunas resinas de pino y el óxido ferroso que se usaba como pulidor de joyas y vidrio llamado “*rouge*”, fue muy hábil en estos aspectos, se interesó mucho en la química, aunque no aportó gran cosa a esta, por entonces, joven ciencia, llegó a ser un experto en metalurgia, y por supuesto estudió la teología y escribió mucho al respecto, aunque siempre mantuvo ocultos sus manuscritos sobre teología. Luego de asistir a la escuela se trasladó a Cambridge para asistir a la universidad donde inmediatamente se destacó en matemáticas, al grado que a la edad de 24 años ya había hecho descubrimientos que lo llevaron más tarde a desarrollar el cálculo diferencial. Después de obtener su título impartió la cátedra Lucasiana durante 33 años. En 1665 huyendo de la peste, regresó a la casa materna en la campiña, donde pasó un año, de maravilla, él mismo lo consideró como su año maravilloso, ya que a su corta edad y aprovechando la vida en el campo; desarrolló el cálculo diferencial, y descubrió la gravedad, es posible que de ahí venga la romántica historia de un Newton en el campo sentado al pie de un árbol viendo caer una manzana, e iluminándose en ese preciso momento para entender que la manzana caía por la misma razón que la luna y los planetas orbitan.

Años más tarde explicó que la Luna caía constantemente hacia la Tierra, valiéndose de un experimento imaginario pero interesante, propuso que si desde la cima de una montaña muy alta se lanza con mucha fuerza una manzana hacia el valle bajo de la montaña, la manzana caerá alcanzando una cierta distancia horizontal en el valle, luego propuso que si se pudiera lanzar más fuerte, la manzana

caería más lejos en el valle, si se lanza con más fuerza todavía, caería hasta el mar, más fuerte aún la haría llegar hasta otro continente, y aumentado el impulso inicial tanto como fuera necesario la haría caer cada vez más y más lejos en el globo terráqueo, hasta que finalmente la haría caer en la misma montaña desde donde fue lanzada, pero ¡después de dar la vuelta al mundo! Un poco más de fuerza la haría continuar dando vueltas a la Tierra cayendo constantemente hacia ella pero sin aterrizar nunca, y la colocaría ¡en órbita alrededor de la Tierra!

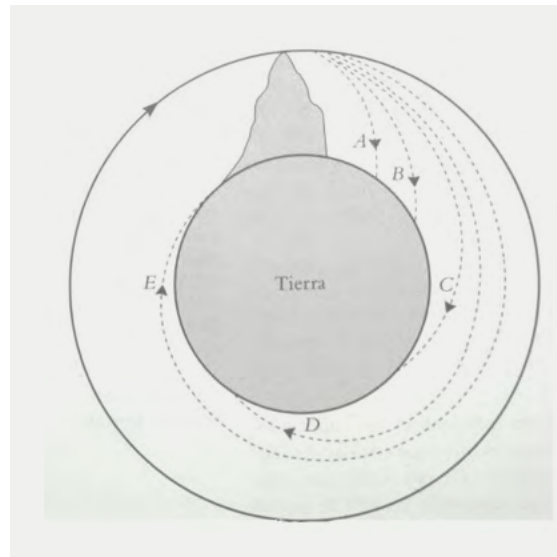
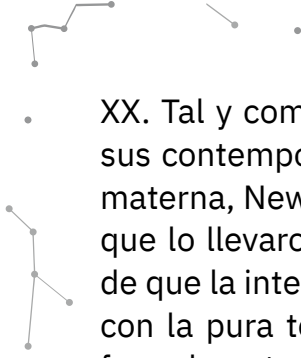


Fig.13 ilustración de Newton de Newton sobre el escape del campo gravitatorio terrestre .

Para su tiempo, este tipo de experimentos mentales eran casi inconcebibles, pero hoy sabemos que es así precisamente como se ponen en órbita todos los satélites artificiales, y que permanecen en órbita cayendo constantemente hacia la Tierra sin llegar a tocarla. Años más tarde Einstein nos volvió a sorprender con experimentos mentales complicados e increíbles para el hombre común del siglo



XX. Tal y como pudo ser este experimento mental de Newton para sus contemporáneos. Ahí mismo, en la calma campirana de la casa materna, Newton realizó importantes experimentos de óptica reales que lo llevaron a proclamar la teoría corpuscular de la luz. a pesar de que la interferencia de la luz en su propio diseño no fue explicada con la pura teoría corpuscular. Tal vez por eso Newton no publicó formalmente estos descubrimientos de su año maravilloso, sino hasta que varios años después y gracias a fuertes discusiones con Robert Hook y a la insistencia de Edmund Halley se decidió a escribirlas y publicarlas. Seguramente debió arrepentirse de la tardanza en publicar estos descubrimientos ya que años más tarde, sufrió una experiencia poco agradable cuando hubo de disputar la primicia de la invención del cálculo diferencial con Leibnitz, quien por su parte también lo había desarrollado en Alemania. Dos años tardó Newton en escribir su magna obra, pero de ella surgió la luz del conocimiento, la genial obra de Newton, que estableció para siempre las bases sobre las que descansa la física como una ciencia formal, su monumental obra llamada “Principios Matemáticos de Filosofía Natural” En ésta magna obra estableció las relaciones cuantitativas que rigen los movimientos de los cuerpos, además dejó claro y para siempre la validez de la teoría geocéntrica de Copérnico y desde luego que le dio la razón a Galileo.

Newton fue miembro de la *Royal Society* y colega contemporáneo de gente tan importante como Edmund Halley, Cristian Huygens, Christopher Wren y Robert Hook, de hecho, de no ser por que Newton brilló tanto, Hook pudo ser el genio máximo de la época, ya que trabajó en las leyes de la elasticidad que llevan su nombre y que establecen la relación que hay entre el estiramiento de un cuerpo y la fuerza aplicada sobre el mismo, Hook mismo construyó un telescopio como el de Newton pero que producía imágenes erectas, conocido como telescopio gregoriano, las imágenes eran erectas porque a diferencia

del telescopio newtoniano que antes del plano focal dirige el haz hacia afuera con un espejo diagonal, para ser vistas con el ocular, este diseño gregoriano regresa el haz a la parte posterior del espejo principal mediante un segundo espejo cóncavo colocado al centro del tubo y más allá del foco cuando los rayos ya se han cruzado, el espejo secundario cóncavo entonces alarga la distancia focal de convergencia de los rayos y los regresa hacia el primario, para que salgan por un agujero central que hay en espejo, con esto la longitud del tubo del telescopio se reduce notablemente, lo que es una gran ventaja para el diseño de la forma de sujetar o montar el telescopio pues al ser más corto es más compacto, su centro de masa es más abajo, y las vibraciones se reducen, al mismo tiempo aumenta su potencia, dado que la distancia focal resulta más larga debido al ir y venir de los rayos dentro del mismo tubo. El cruce de los rayos en el foco del primario, produce entonces la imagen erecta en el plano del ocular.

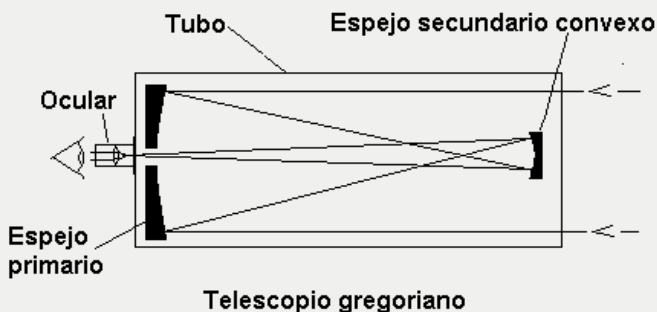


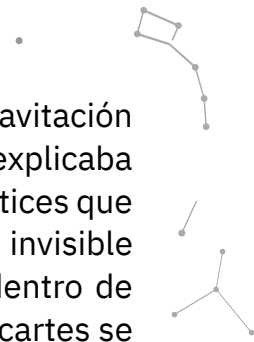
Fig.14 diagrama del telescopio gregoriano.

Con este telescopio Hook descubrió una quinta estrella en la constelación del trapecio, las rotaciones de Marte y Júpiter. Además fabricó piezas para relojes de péndulo, descubrió la difracción de la luz y fue el primero en darse cuenta y sugerir que la luz estaba compuesta por ondas.



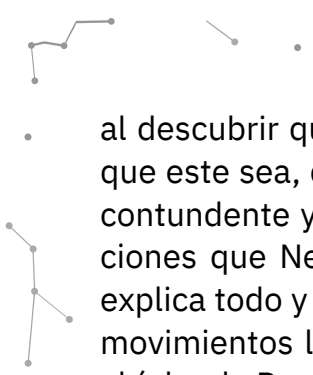
- Christiaan Huygens participó en la invención del telescopio reflector, logró construir el reloj de péndulo que Galileo nunca pudo, descubrió los anillos de Saturno y su luna más grande llamada Titán, así mismo con el perfeccionamiento que logró del telescopio observó por primera vez la nebulosa de Orión. En el campo de la óptica se destacó no sólo por sus aportaciones para mejorar los telescopios, sino también por construir microscopios con los que llegó a observar las células.

Edmund Halley por su parte fue un gran observador del cielo, descubrió su muy famoso cometa, y aplicando las leyes de Newton pudo por primera vez predecir su regreso de 1758, fue el primero en catalogar las estrellas del hemisferio sur, y lo más importante con delicadas y precisas observaciones demostró el movimiento propio de las estrellas, a partir de ese momento ya no se podía considerar que la bóveda celeste era como una esfera con todas las estrellas fijas en ella. Durante dieciocho años observó la Luna, registró sus movimientos e hizo unas tablas astronómicas, y todo esto gracias al telescopio y a las leyes de Kepler, más aún, sus observaciones y registros confirmaron las proposiciones de la teoría gravitatoria. Todos estos científicos gozaron de la relativa libertad que los protestantes de entonces tenían para realizar sus investigaciones y experimentos científicos que les permitieran descubrir el plan divino del universo. Por otro lado Francis Bacon que no era propiamente un científico, propuso el método científico y sostuvo que la ciencia debía estar organizada y subsidiada por el estado, para así someter y poner todo el conocimiento al servicio de la sociedad y dominar la naturaleza, es muy probable que esta propuesta hubiera sido considerada como herética por la Europa católica en la que se desarrollaban otras ideas, como la de René Descartes en Francia, quien a pesar de su maravilloso invento de la geometría cartesiana, que hasta la fecha sigue siendo la base de los marcos de referencia de todo sistema

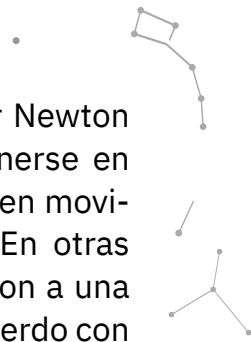


geométrico, no podía aceptar la acción a distancia que la gravitación de Newton proponía, sino que en su propia cosmología explicaba que el movimiento de los planetas era causado por unos vórtices que conectaban al Sol con sus planetas a través de un medio invisible pero existente, a pesar de toda la libertad de expresión dentro de los límites de la época, esta teoría cosmología de René Descartes se enseñó en las universidades por casi cincuenta años.

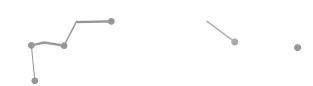
El telescopio, ese ojo mágico del mundo, ayudaba ahora al triunfo de la mecánica, al triunfo de la verdad, antes del telescopio todo tenía que ser aristotélico, ahora, después del telescopio, todo era hermosamente cierto. ¡Sí! Porque gracias al telescopio, una nueva belleza armónica del universo se había revelado, las observaciones telescópicas llevaron a la obtención de datos, posiciones y registros que al analizarlos arrojaron la verdadera perfección del universo y hasta si se quiere, el plan divino del cosmos. Entre las primeras aportaciones del telescopio a ésta maravillosa y nueva cosmología está el concepto de acción a distancia, la explicación de cómo, una masa, que sólo es la cantidad de materia contenida en un cuerpo, puede por sí sola, interaccionar a la distancia con otra masa sin absolutamente nada que las conecte entre sí, por supuesto que no fue fácil aceptar esta interacción a distancia, y de hecho, sigue sin serlo para mucha gente aún en el siglo XXI. Puede parecer extraño pero, efectivamente resulta difícil aceptar la acción a distancia de la gravedad, pero al momento en que nos damos cuenta que de no ser por la acción gravitacional a distancia que el Sol y la Tierra mantienen entre sí es que la Tierra se mantiene atada al Sol pues de no ser así, la Tierra saldría disparada alejándose del Sol fuera de su órbita debido a la aceleración centrípeta de su traslación, tal como la piedra salida de la honda de David cuando se enfrentó a Goliat. Si calculamos la resistencia que una supuesta honda gigantesca necesitaría para mantener a la Tierra girando como lo hace alrededor del Sol, nos sorprenderíamos



al descubrir que, ¡no existe material alguno por grueso y resistente que este sea, que pudiera soportar semejante jalón! Sin embargo la contundente y verídica elegancia, físico matemática de las explicaciones que Newton daba al fenómeno con la teoría gravitatoria lo explica todo y lo coloca en la cima de la perfección. Newton da a los movimientos la precisión matemática que sus ecuaciones aportan, ahí donde Descartes sólo ofrecía una explicación vaga, Newton abre las puertas a la predicción cuantitativa de los hechos. He aquí la armonía: Dos masas separadas entre sí por una cierta distancia se atraen una a la otra sin que nada las conecte entre sí, con una fuerza que es proporcional a sus masas, pero inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, ésta relación se llama inverso cuadrática y se puede expresar como una ecuación en la que intervienen las masas, el inverso cuadrado de su distancia y una constante universal llamada la constante de la gravitación. La ecuación funciona y describe el movimiento de los cuerpos provocado por la atracción que sus masas provocan entre ellos. La primera intuición que nos viene a la mente como resultado de ésta atracción gravitacional a distancia es que ambos cuerpos deben comenzar a moverse aceleradamente cada uno en la dirección del otro. Pero... nadie dijo que estaban en reposo cuando comenzó a sentirse la atracción de las masas entre sí, ni tampoco que ya estaban ahí y de repente comenzaron a sentirse atraídas mutuamente por la gravedad, es más, la atracción siempre existió aunque cuando las masas estaban más alejadas la fuerza fuera muy más débil como para ponerlas en movimiento, así que, cuando, se acercaron lo suficiente entre sí por la razón que sea para que la fuerza gravitacional de atracción empezara a ser suficiente para ponerlos en movimiento uno hacía el otro, cada uno de los cuerpos ya tenía un movimiento propio, y ese movimiento propio fue el que, de alguna forma, los llevó al punto en el que comienzan a acelerarse entre sí uno en dirección del otro y, este movimiento propio se conserva de acuerdo con lo establecido por la

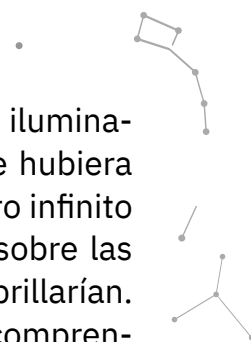


ley de la inercia demostrada por Galileo, y establecida por Newton esta ley dice que todo cuerpo en reposo tiende a mantenerse en reposo, y todo cuerpo en movimiento tiende a mantenerse en movimiento, mientras no haya una fuerza que lo modifique. En otras palabras estas dos masas por su propio movimiento llegaron a una posición tal que se comenzaron a atraer una a la otra de acuerdo con la forma inverso cuadrática, nadie ni nada las colocó ahí de repente, ni tampoco estando ellas en reposo comenzó a aparecer la atracción gravitacional como por arte de magia, sino que una situación anterior implicó que llegaron a ese estado inicial en el que la atracción gravitacional comenzó a sentirse y se empezaron a acelerar, pero conservando, cada cual su propio movimiento o impulso inicial. Es en ese momento preciso cuando dos cuerpos que mantienen su movimiento inicial propio y que por cualquier razón se han acercado lo suficiente para ser atraídos entre sí, cuando comienza la danza gravitacional en su sublime belleza; las masas, ya sean partículas o planetas, tienen tres posibilidades: O avanzan una hacia la otra hasta que chocan entre sí, o pasan una al lado de la otra sin tocarse cambiando la dirección de su movimiento por el efecto de la fuerza de atracción gravitacional alejándose luego entre sí nuevamente, o por último, pero más importante, orbitan una alrededor de la otra, en una órbita que además tiene la forma de una sección cónica, generalmente una elipse, y en uno de cuyos focos está el centro de masa de ambos cuerpos. ¡Esta es la impresionante belleza y armonía de la naturaleza! Aún cuando los cuerpos no se toquen y puedan seguir su camino, la curva que describen cuando experimentan el acercamiento ¡Es también una curva con sección cónica! Ante esto la supuesta belleza y perfección de las órbitas circulares de Aristóteles se reduce a una trivialidad. La ley de la gravitación universal no solo describe la belleza del movimiento de los planetas sometidos a la acción gravitatoria del Sol, también describe las órbitas de los satélites que giran alrededor de algunos planetas, tales como la luna y



- los satélites de Júpiter, y también explica el porqué algunas órbitas sufren perturbaciones en sus trayectorias a causa del acercamiento de otros cuerpos, este efecto de la perturbación de una órbita se usó posteriormente para predecir la presencia de planetas aún no conocidos y nunca antes vistos como Urano y Neptuno, la gravedad y su acción a distancia inverso cuadrática, no sólo describe sino también predice fenómenos celestes tales como la aparición de cometas y hasta se ha aprovechado para darle más velocidad y guiar a las naves interplanetarias cuando estas se hacen pasar cerca del campo gravitacional de un planeta grande como Júpiter, y sufren un tirón gravitacional, que si bien no las hace chocar con él si les modifica su trayectoria y les aumenta su velocidad lo que les permite viajar más rápido.

Hay varias implicaciones importantes que se desprenden de la teoría gravitacional. Para empezar, como la gravedad se aplica al universo entero, esto implica que necesariamente tarde o temprano todos los cuerpos del universo al estar atrayéndose unos a otros se colapsarían en un espectacular choque de todas las estrellas entre sí, Newton se dio cuenta de esto y por eso pensó que el universo para no colapsar tendría que ser infinito, con estrellas siempre infinitamente lejanas de tal manera que nunca se colapsaría por efecto de la gravedad, dado que la fuerza de atracción disminuye mucho con la distancia, de hecho con el cuadrado de la distancia, de manera que las estrellas a distancias infinitas jamás se acercarían entre sí. Claro que Newton pensaba que todo esto sucedería en un espacio euclidiano es decir de tres dimensiones ortogonales. Por otra parte, de ser infinito el universo y con un número de estrellas infinito, se presentaría una paradoja conocida como la paradoja de Olbers quien demostró que si el universo fuera infinito, entonces el cielo nocturno no sería oscuro, ya que habría estrellas en todas las direcciones, y serían tantas que la suma de todos sus brillos sería comparable con

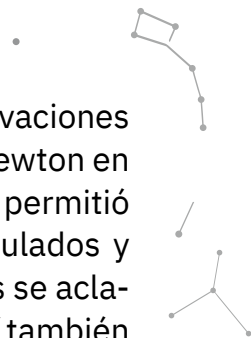


la brillantez y el calor del Sol del día, de modo que siempre iluminarían el cielo, no habiendo noche ni día. Aún pensando que hubiera polvo estelar obstruyendo trayectoria de la luz de un número infinito de estrellas la energía de un número infinito de estrellas sobre las partículas del polvo acabaría por calentarlas a tal grado que brillarían. La paradoja no se explicó hasta años más tarde cuando se comprendieron conceptos como el corrimiento al rojo, la teoría cuántica de la luz, y la relatividad. Además el resolver ésta paradoja llevó a la investigación de la expansión del universo. Vemos que de una simple pregunta, tal como ¿Porqué el cielo es oscuro de noche? Han salido muchas otras cuestiones, razonamientos, soluciones teorías y sobre todo más preguntas. Muchas de ellas han encontrado respuestas gracias a la maravilla que es el telescopio.

Otra implicación fundamental es que con la teoría gravitatoria de Newton y las leyes del movimiento se puede pensar que la descripción de los movimientos efectuados tanto por los planetas como por las partículas más pequeñas, es predecible en el tiempo, tanto para el futuro como para el pasado, dado que si se conoce la posición y la velocidad de cada partícula, entonces se puede calcular donde estará un segundo después o un año después o un siglo después, lo mismo se podría hacer para calcular, donde estaba un segundo antes, un año antes o un siglo antes y así sucesivamente ¡Desde el principio de los tiempos y hasta el fin de los mismos! Está posibilidad encierra un asunto filosófico muy controvertido ya que implica que la física, en teoría, podría ser capaz de conocer el pasado y determinar el futuro. Semejante situación desató una enorme controversia en el sentido de que parecería entonces que ya todo estaba determinado, y nada sería desconocido, incluso el libre albedrío otorgado por Dios al hombre dejaría de ser cierto, ya que conociendo la posición y la velocidad de cada partícula del universo, y conociendo las leyes del movimiento y la acción a distancia de la gravedad, se puede determinar todo el



movimiento pasado y futuro del mundo y el universo con el propio hombre incluido, tal y como se podía calcular las órbitas y posiciones pasadas y futuras de los planetas rotando alrededor del Sol. Por supuesto que los cálculos serían muchísimos, pero parecía, al menos en teoría, que era posible hacerlos, tal y como se calculaba y predecía el regreso de un cometa, lo que ya era posible. Tal vez alguien hasta llegó a imaginar que con el tiempo habría computadoras veloces capaces de hacer esos cálculos. Como un primer intento se hizo el ejercicio de calcular el pasado y el futuro de un universo muy simple que consistía sólo de dos partículas moviéndose en un plano finito y pequeño de dos dimensiones, y fue posible determinar ecuaciones que describían el movimiento de ambas partículas en este universo imaginario tan simple. Pero al pasar a un ejercicio con tres partículas en un espacio de tres dimensiones, el problema y las ecuaciones que describen el movimiento es ya es tan complejo que ni siquiera las computadoras modernas lo pueden resolver en un tiempo razonable, El asunto entonces se complica enormemente y es complicado hasta la fecha, con el tiempo se encontraron más y más efectos que intervienen en éste problema, como el hecho de que las partículas pueden estar girando, como en realidad lo están, el problema se complica aún más, a este problema se le ha llamado el problema de los tres cuerpos. ¡Imaginemos la dimensión del problema cuando se incluyen todas y cada una de las partículas del universo entero y su espacio indefinido! Más tarde, la física moderna con el principio de incertidumbre de Werner Heisenberg, demostró que no es posible conocer al mismo tiempo la velocidad y la posición de ninguna partícula. ¡Con esto, el divino libre albedrío del ser humano estaba a salvo! Ni Newton ni sus contemporáneos podían imaginar la existencia del principio de incertidumbre, pero la complejidad del problema de los tres cuerpos, pudo muy bien salvarlos de la hoguera.



El telescopio cada vez más refinado y preciso permitió observaciones que, por un lado confirmaban la veracidad de las leyes de Newton en cuanto al movimiento de los cuerpos celestes, pero también permitió detectar ciertas discrepancias entre los movimientos calculados y los predichos, con los movimientos reales, estas diferencias se aclararon cuando se entendió que dos cuerpos orbitando entre sí también pueden ser perturbados por un tercer cuerpo en las proximidades de alguno de ellos; como ejemplo tomemos el caso de un planeta como Venus que orbita alrededor del sol describiendo una trayectoria elíptica, por su parte un planeta como la tierra que tiene un satélite suficientemente grande como la Luna, ve perturbada su órbita por la atracción gravitacional lunar, la mejor prueba de influencia de la luna sobre la tierra son las mareas provocadas precisamente por la fuerza gravitacional de la Luna sobre el mar, es obvio que la Tierra también influencia a la Luna, pero dado que no hay mares de agua en la luna, no hay mareas en la Luna, sin embargo la Tierra y la Luna al ser del mismo orden de magnitud en sus respectivos tamaños, se pueden considerar como un sistema binario, es decir, como dos planetas girando respecto al centro de masa de ambos, vistos desde lejos fuera de la Tierra se podría ver que la Luna no gira alrededor de la Tierra sino que ambos, la Luna, y la Tierra giran entre sí, y por lo tanto la órbita que cada uno de estos cuerpos describe en relación al Sol es una elipse pero con un cierto vaivén que corresponde al giro que estos cuerpos describe entre sí. Este efecto se puede ver como una perturbación en su órbita, que de no ser por ella describiría una elipse continua, así también los planetas se perturban entre sí, por ejemplo cuando la Tierra tiene su máximo acercamiento a Marte, se ejerce un jalón gravitacional entre ellos que perturba ligeramente la línea de sus órbitas elípticas, provocando perturbaciones. Estas perturbaciones se pueden observar cuidadosamente con instrumentos especiales adaptados a los telescopios y más aún, se pueden calcular y predecir. Con este procedimiento y observando cuidadosamente las



- perturbaciones sufridas por la órbita de Urano, se pudo predecir la presencia de Neptuno, y más tarde observando las perturbaciones en la órbita de Neptuno se sospechó y se predijo la presencia de Plutón, El telescopio se apuntó al lugar donde se predijo que estos planetas debían estar y se confirmó su existencia con la observación. De manera similar se descubrieron muchos asteroides, y actualmente observando las perturbaciones en las trayectorias de algunas estrellas se pueden detectar planetas girando alrededor de ellas aún sin verlos. La gravitación es por lo tanto una ley universal que se cumple en cualquier parte del universo, ya sea haciendo caer manzanas en la Tierra, provocando las mareas, perturbando las órbitas de planetas y estrellas, llegando a doblar un rayo de luz o devorando toda la materia en la cercanía de un agujero negro.



La acción a distancia entre dos cuerpos intrigó tanto a Newton que consideró que todas las fuerzas de la naturaleza se daban en pares, es decir si un cuerpo ejerce acción sobre otro cuerpo, entonces el segundo también ejercía reacción sobre el primero. Comprobó que esto era cierto y tal simetría lo fascinó tanto que le permitió establecer su tercera ley del movimiento, que establece que: a toda acción corresponde una reacción igual y en sentido contrario, ésta tercera ley de Newton se aplica en los modernos aviones a reacción, y sobre todo en los cohetes espaciales que precisamente se impulsan hacia adelante gracias a que lanzan chorros de gas a enormes velocidades hacia atrás. Con la tercera ley de Newton se cerró el estable trípode sobre el que descansa la física y durante dos siglos constituyó el pedestal de la ciencia, más aún hasta la fecha las tres leyes de Newton siguen siendo el cimiento de la física clásica para todo propósito práctico. Por otra parte el establecimiento de la tercera ley de Newton tiene una implicación filosófica más importante, ya que nada puede actuar por sí sólo, sino que siempre debe haber una contraparte que lo contrapesa, y por lo tanto el motor inmóvil que



según Aristóteles actuaba sobre el universo, no puede existir ya que siendo único no puede apoyarse en nada, lo que claramente viola la tercera ley, con lo que nuevamente la supuesta perfección aristotélica cae ante la fuerza de la verdad.

Al final de su vida Newton quiso hacer coincidir su teoría gravitacional con sus estudios de óptica e hidráulica proponiendo que tanto la gravitación como la hidráulica y la óptica estaban relacionadas entre sí y corroboraban la teoría corpuscular de la luz. Para demostrarlo quiso extender sus descripciones del movimiento de los fluidos y hacer una analogía entre el movimiento de los fluidos y el de las partículas de luz, pero obviamente no lo logró. Ni Newton ni nadie ha podido explicar hasta ahora que es lo que realmente causa la fuerza de atracción gravitacional entre las masas, él trató el tema solamente en un anexo a la segunda edición de sus *Principios* de 1713, en el célebre anexo llamado “Escolio General” establece que el bellísimo sistema gravitacional sólo puede proceder del dominio de un Ser Supremo al que primero llamó Gobernante Universal, pero en la tercera edición ya lo llama claramente “Dios de Israel”, “Dios de Dioses” y “Señor de Señores”. No se sabe cuáles fueron sus razones para estas expresiones, pero lo más notable es que hasta la fecha sigue sin saberse qué es lo que causa la atracción gravitacional, hay muchas teorías, pero nada definitivo hasta ahora. Newton descubrió las leyes que rigen a la gravedad y las demostró, han servido como fundamento de la física clásica por siglos, el efecto gravitacional está claramente iluminado por la genialidad de Newton, pero la causa está todavía sin aclarar, profundamente escondida en la naturaleza, esperando que una nueva mente genial que la descubra.

La belleza y armonía de los descubrimientos de Newton junto con las observaciones astronómicas hechas con los telescopios por Galileo, Kepler, Halley y Hook y muchos más que gozaron de la dicha de tener

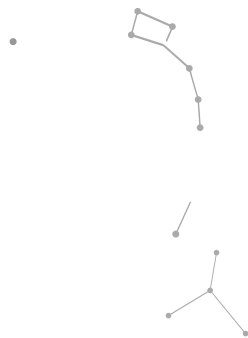


- un telescopio, liberó al hombre de miedos, mitos supersticiones y falsedades, y le abrió el camino a la verdad de la ciencia, a la belleza de la nueva cosmología que además convirtió en mágicos los ojos del hombre, cada vez que los pone detrás de un telescopio. El poeta Inglés Alexander Pope escribió: *La naturaleza y sus leyes yacían escondidas en la noche. Dios dijo, ¡Hágase Newton! Y todo se iluminó.*





CA PÍ TU LO 4



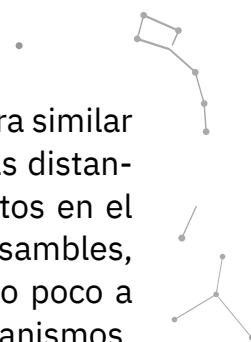
CRECIENDO EN LOS CIELOS

En los siguientes dos siglos, el telescopio se consolidó y se convirtió en una invaluable arma no sólo para el conocimiento, sino también para el desarrollo de la humanidad, se empezaron a establecer observatorios con la finalidad de estudiar el cielo con fines científicos, se mejoraron las ópticas, las monturas, la precisión de la observaciones, la forma de medir el tiempo y surgió la instrumentación especialmente diseñada y construida para ser usada en los telescopios. El telescopio crecía en los cielos. Ya desde 1640 se había empezado a usar el telescopio para hacer mediciones ángulos entre objetos o simplemente entre dos puntos separados del objeto observado. Una de las primeras técnicas usadas para hacer mediciones con el telescopio, fue una simpleza producto de la casualidad: Un astrónomo aficionado en Inglaterra tenía su telescopio, pero lo dejó de usar durante un tiempo, cuando lo usó nuevamente notó que tenía una telaraña en el plano focal del ocular, este aficionado, llamado William Gascoigne, no limpió inmediatamente el ocular, sino que se dio cuenta que la telaraña se sobreponía a la imagen, y pronto entendió que los finos hilos de la telaraña, servían de referencia para medir las distancias entre las imágenes en el ocular. Rápidamente fabricó



retículas con hilos de la telaraña, colocando estos hilos a distancias establecidas, y logrando así las primeras mediciones entre puntos separados de la imagen, y también un método para localizar el centro exacto del campo de visión del telescopio que, relacionado con la posición del mismo, permitía establecer las coordenadas del objeto observado con gran exactitud. Más tarde, con tornillos micrométricos se adaptaron movimientos a las retículas para desplazar con mucha precisión sus líneas desde un punto hasta otro de la imagen, y así medir la distancia angular entre cosas tales como las montañas de la Luna, el diámetro aparente de los planetas, o la separación entre las estrellas. El método fue tan exitoso que el mismo Christopher Wren lo aplicó en Oxford para estudiar la superficie de la luna, en Francia se mejoraron los tornillos micrométricos para poder desplazar las retículas con mayor precisión.

Estos fueron los primeros adelantos técnicos que convirtieron al telescopio en un instrumento de medición de enorme utilidad y exactitud. Por primera vez con el telescopio se podían no sólo ver objetos lejanos sino también, cuantificarlos, obtener las medidas de sus diámetros, sus distancias etcétera. Un ejemplo muy bonito de la utilidad de este sistema era el medir la altura de las montañas de la Luna. En esa época, y para mucha gente hasta hoy en día, parecería increíble que desde la Tierra se pudiera medir la altura de una montaña en la Luna, pero con el telescopio y la retícula basta con tener una buena imagen de la luna en un momento que el Sol ilumine las montañas lunares y estas proyecten sus sombras sobre la superficie de la Luna, entonces con el micrómetro se mueve el hilo de la retícula desde la base de la montaña de la Luna hasta el final de su sombra, con eso se obtiene longitud de la sombra, sabiendo la posición del Sol se puede saber con qué ángulo inciden sus rayos que iluminan la montaña lunar, bastan esos datos y un poco de trigonometría, de la que se estudia en la escuela secundaria para calcular



la altura de la montaña en la superficie de la Luna. De manera similar se pueden medir cosas como el diámetro de un planeta, las distancias angulares entre estrellas y las posiciones de los objetos en el cielo. Mucho esfuerzo se dedicó para lograr este tipo de ensambles, monturas y mecanismos de guía para los telescopios, pero poco a poco se fueron mejorando tanto los sistemas como los mecanismos, así como los instrumentos, las herramientas y los dispositivos para el mejor aprovechamiento del ojo mágico que es el telescopio.

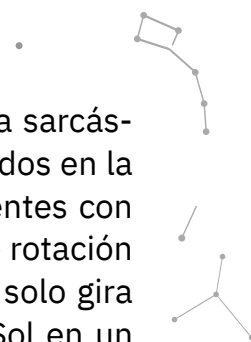
Con el telescopio y la retícula las mediciones fueron mejorando mucho, al mismo tiempo se hacía necesario que los telescopios se montaran en dispositivos muy estables, que además se movieran con gran precisión para seguir a los astros en su aparente recorrido diario por la esfera celeste. Un movimiento o vibración, por más ligero que parezca hace que la imagen en el telescopio se mueva mucho, entre más grande sea la amplificación del telescopio, más grandes serán los movimientos que se registren en la imagen cuando se dan pequeños movimientos en el instrumento, por lo tanto la montura del aparato tiene que ser más estable y precisa. Si uno observa una estrella o la Luna a través de un telescopio bien fijo, notará que la estrella observada parece moverse hasta que se sale del campo visual, esta es una bonita experiencia porque nos demuestra que es la tierra al girar la que provoca este fenómeno. Por esta razón, para mantener la imagen en el campo visual al pasar el tiempo, se requiere que el telescopio compense el movimiento de la Tierra con un mecanismo de relojería que lo mueva a la misma velocidad que la Tierra rota pero en sentido contrario, a esto se le llama guiado del telescopio, tiene la gran ventaja de que una vez que se apunta el telescopio a un objeto, el guiado hará que el telescopio lo siga en su trayectoria aparente por el cielo, causada por la rotación de la Tierra, así entonces, se puede observar el mismo objeto durante mucho tiempo sin que se salga del campo visual, y hacer mediciones más precisas de él y de



- los objetos que interaccionan con él, o atestiguar su evolución en el tiempo, como en el caso de los eclipses, y las ocultaciones en los que se requiere medir con precisión los instantes del contacto y el desarrollo del eclipse. Más tarde con la invención de la fotografía, el guiado de un telescopio pasa a ser de enorme importancia ya que para lograr fotografías con mucho tiempo de exposición en las que la luz procedente de los astros tiene que llegar a la emulsión fotográfica durante largo tiempo para así poder registrar y detectar objetos muy débiles, es necesario mantener el telescopio perfectamente guiado sobre el objeto durante todo el tiempo que dura la exposición fotográfica. El guiado del telescopio requiere de un desarrollo mecánico de alta calidad, con gran balance en todas sus partes, libre de toda vibración, con un ensamble perfecto y con movimientos tan suaves y precisos como la propia rotación de la Tierra,



Para observar y conocer el cielo se necesita un sistema de coordenadas que le asigne un único lugar a cada objeto, estrella, planeta etcétera, y que nos permita saber dónde está exactamente cada objeto celeste. Así como el globo terráqueo es una esfera en cuya superficie exterior estamos nosotros, con todos los puntos del globo definidos por las coordenadas terrestres de latitud y longitud, en el sistema de la bóveda celeste debe haber un sistema de coordenadas similar, la bóveda celeste se puede imaginar como una gran esfera, sólo que esta vez, nosotros la estamos viendo desde su propio centro, desde nuestro punto de vista en la Tierra, la esfera aparenta girar con todos los objetos celestes sobre su superficie interior, y parece girar una vez cada día, haciéndolo sobre un eje que va del polo norte al sur de nuestro planeta, así es como aparenta ser su movimiento visto desde la Tierra, y no es de extrañar que así es como Ptolomeo pensaba que sucedía, aunque ya sabemos que en realidad es la Tierra la que gira sobre su eje provocando ese efecto cada día, por supuesto la impresión corriente que nos da, es que la esfera celeste



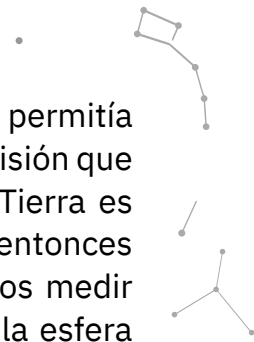
es la que gira, por lo que Ptolomeo no merece tanta crítica sarcástica, pues su explicación de los movimientos celestes basados en la Tierra como centro del universo son, en principio, congruentes con la observación elemental y el sentido común. Al periodo de rotación de la Tierra sobre su eje se le llama día solar. La tierra no solo gira sobre su eje sino que también se traslada alrededor del Sol en un año, esta traslación provoca que la esfera celeste que vemos desde la Tierra parezca que se adelanta casi cuatro minutos cada día, entre un día solar y el siguiente la diferencia en el adelanto de la esfera celeste casi no se percibe, pero al pasar los días se va haciendo cada vez más y más notable, hasta que al término de un año regresa al mismo lugar, y comienza otro ciclo, ya que los cuatro minutos de variación multiplicados por 365 días son muy aproximadamente 24 horas, o sea un día. Al tiempo que tarda la tierra en dar una vuelta desde un punto en el cielo y regresar al otro día a ese mismo punto se le llama día sideral. El punto desde donde parte inicialmente en su traslación alrededor del Sol y al que regresa cuando completa una vuelta se define como el punto del equinoccio vernal y se estableció como el punto donde el sol cruza el ecuador celeste en la primavera del hemisferio norte. También se le llamaba primer punto de Aries, porque es ahí precisamente, en el primer punto de la constelación de Aries donde el Sol cruzaba el ecuador celeste, cuando este punto se definió, en la actualidad ya no lo cruza exactamente ahí pues este punto se ha desplazado con el tiempo debido al movimiento de precesión de la Tierra, pero el punto del equinoccio vernal se sigue llamando así tradicionalmente aunque equivocadamente. El corrimiento diario que provoca la traslación de la Tierra alrededor del Sol se usa para establecer la primera coordenada astronómica llamada ascensión recta, como se trata de una medida tiempo las unidades que se usan son horas, minutos y segundos. El equinoccio vernal se establece entonces en el momento en que el Sol cruza el ecuador celeste en primavera boreal, momento en el que se establecen las



cero horas con cero minutos y cero segundos, para la ascensión recta del Sol. Conforme la esfera celeste parece girar, pasa el tiempo y así mismo cambia la coordenada de ascensión recta, al final de ese día ya habrá una diferencia de aproximadamente cuatro minutos entre la hora solar y la hora sideral, y así sucesivamente cada día. La ascensión recta de una estrella es entonces, la distancia hacia el este, o mejor dicho, el tiempo hacia el este, a la que esa estrella está medido desde el equinoccio vernal y expresado en horas, minutos y segundos a esto también se le llama el ángulo horario, y es una coordenada única que va incrementando su valor hacia el este cada día. En los mapas celestes hay además líneas de polo a polo como los meridianos terrestres que también se llaman meridianos y que se marcan a cada hora desde el equinoccio vernal o sea desde el cero hasta las 23 horas. Los meridianos de ascensión recta forman un gigantesco reloj, sólo que en este particular reloj la manecilla de las horas está fija en cada lugar de la tierra, y es la carátula de 24 horas de la gran esfera celeste la que va hacia el oeste un poco cada día, sobre cada uno de nosotros en nuestro muy particular meridiano, también queda claro que, si por ejemplo hay 3 horas desde nuestro meridiano al equinoccio vernal, pues también hay tres horas desde el equinoccio vernal hasta nuestro meridiano, entonces la hora sideral se puede entender también como la ascensión recta de nuestro meridiano particular, la que también cambiará del orden de tres minutos y cincuenta y seis segundos cada día, es decir muy aproximadamente cuatro minutos.

Con la observación celeste se llegó a tener mucha información importante para varios tipos de actividad, por ejemplo; se sabe que son las cero horas siderales cuando la constelación de Pegaso está sobre nuestro meridiano, son las 5 y media sideral cuando Orión merodea por el centro del cielo, y son las 18:30 siderales cuando la estrella Vega está sobre nuestras cabezas, ésta información era





fundamental para la gente de los siglos XVI y XVII ya que les permitía calcular su posición aproximada y la época del año. La otra visión que debemos tener de la gran esfera celestial vista desde la Tierra es que el ecuador terrestre corresponde al ecuador celeste, y entonces de la misma manera que lo hacemos en la Tierra, podemos medir el ángulo en grados, minutos y segundos de un objeto en la esfera celeste tomándolo desde el ecuador celeste hacia el norte o desde el ecuador hacia el sur, esta es la segunda de las coordenadas celestes le llamamos declinación y la medimos en grados, minutos y segundos de declinación norte, o declinación sur respectivamente. Los círculos paralelos al ecuador celeste con una misma declinación marcan a todas las estrellas o puntos que están en esa declinación particular y son análogos a los círculos paralelos que en tierra marcan la latitud. Estos círculos de la coordenada de declinación giran fijos en el gigantesco reloj de la esfera celeste.

De está forma las dos coordenadas astronómicas o celestes; ascensión recta abreviada A.R. y declinación abreviada “ δ ” (delta) marcan una posición única para cada punto en el firmamento y para cada momento, y todas la posiciones en el cielo se refieren a estas coordenadas de declinación y ascensión recta. Sabemos que la Tierra tiene otros movimientos además de la rotación y la traslación, tales como el ya mencionado movimiento de precesión, por esa razón las coordenadas astronómicas se tienen que actualizar cada cincuenta años, con el fin de no introducir errores importantes, por lo demás las estrellas que parecen fijas en la esfera celeste, intrínsecamente tienen sus movimientos propios que requieren correcciones en los mapas celestes, y el propio Sol gira alrededor del centro de la galaxia cambiando muy lenta pero inexorablemente la apariencia de los cielos. No obstante para todo propósito práctico las dos coordenadas básicas de declinación y ascensión recta referidas a la época de la más reciente actualización son suficientes para propósitos prácticos.

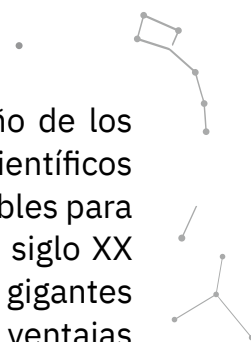


- Una extraña situación se da en los polos, ya que por definición los meridianos van de polo a polo, en consecuencia todos ellos coinciden en cada uno de los polos, por lo tanto en los polos no se puede definir estrictamente una hora sideral ni una hora solar, pues todas coinciden ahí, pero como nadie vive en el polo, y sobre todo no hay hasta ahora un observatorio astronómico en ninguno de los polos terrestres, ésta extraña circunstancia no tiene importancia práctica al menos por el momento.



Otro tipo de coordenadas celestes se conocen y se usan para simplificar los movimientos y el guiado de los telescopios de los telescopios, pero en realidad aunque por una parte simplifican las monturas de los telescopios por la otra complican los cálculos, estas coordenadas son la elevación y el azimut, y se usan para la topografía, el azimut es el movimiento que describe un disco horizontal al girar sobre su eje, tal y como lo hace un tiovivo, mientras que el movimiento de elevación consiste en el ángulo que resulta de apuntar un telescopio desde el horizonte hasta el cenit. De forma que si se tiene un telescopio que se mueve en elevación pero está montado sobre un disco que se mueve en azimut, con estos dos movimientos se puede cubrir toda la bóveda celeste, a este tipo de montura se le llama Alta-azimut, para guiar un telescopio con este tipo de montura de manera que compense la rotación de la Tierra, se deben mover coordinadamente el eje de elevación y el de azimut al mismo tiempo pero con diferentes velocidades, además estos dos movimientos causarán una rotación en el campo visual que para complicar más el guiado del telescopio tendrá que compensarse con un contra-giro en el plano focal de la imagen. Sin embargo este arreglo es en principio mucho más fácil de fabricar mecánicamente, mantiene una gran estabilidad para telescopios pesados, es más fácil de mover por eso fue el que se usó en un principio en la mayoría de los telescopios que se guiaban manualmente. De manera que se construyeron muchos





telescopios con este tipo de montura hasta que el tamaño de los instrumentos y la precisión requerida obligaron tanto a científicos como a ingenieros y constructores a buscar soluciones factibles para el progreso de los telescopios. Curiosamente a finales del siglo XX con la aparición de las computadoras y de los telescopios gigantes con enormes masas, la montura alta-azimut que presenta ventajas de estabilidad, volvió a entrar en uso, ayudada de sistemas de guía operados por computadoras. Las coordenadas de Elevación y azimut se tienen que traducir a coordenadas de ascensión recta y declinación prácticamente a cada instante para los propósitos de un buen guiado y búsqueda de posiciones estelares. El sistema alta azimut de coordenadas no es propiamente útil para la astronomía, aunque sí lo fue para los propósitos de montaje y construcción de los primeros telescopios que requerían sencillez y estabilidad en su montura, y lo es nuevamente en la actualidad para los telescopios muy grandes y masivos, que con la ayuda de las computadoras pueden efectuar los movimientos tan precisos y necesarios para el guiado astronómico.

Las Monturas para los telescopios tuvieron que evolucionar de acuerdo con las necesidades de los nuevos instrumentos, cada nuevo telescopio necesitaba una montura que cumpliera con las condiciones de estabilidad, precisión en el guiado y facilidad para observar. En un principio los telescopios solamente se montaban en estructuras con la finalidad de sostener el instrumento, con la estabilidad suficiente para apuntar y observar, sin embargo resultaba sumamente complicado el moverlos y dirigirlos, hasta se requería de la ayuda de más de una persona para esas tareas, durante la observación era necesario perseguir por el cielo el objeto durante todo el tiempo de la observación para compensar la rotación de la Tierra, en muchas ocasiones se perdía más tiempo moviendo y apuntando el telescopio que observando con él. En un principio, cuando se construían esos telescopios largos, con grandes distancias focales con el

- fin de lograr grandes aumentos y disminuir la aberración cromática, los instrumentos se llegaban hasta a colgar con poleas y cuerdas desde altos mástiles, algunos sólo tenían un esqueleto del tubo, otros ni siquiera tenían tubo, sino que la lente objetivo estaba en las alturas del mástil movida a distancia con unas cuerdas y desde abajo, con el ocular, había que perseguir la imagen producida con la simple ayuda de una cuerda tensada que unía ambas lentes sirviendo como guía y para ayudar a conservar la distancia focal.

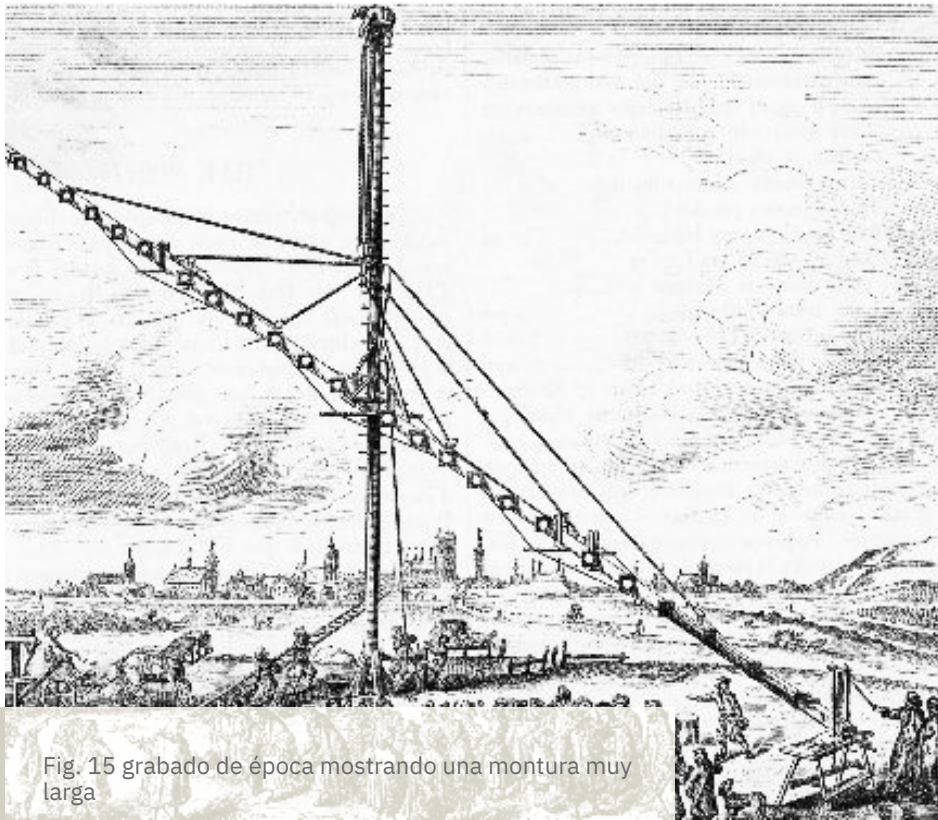


Fig. 15 grabado de época mostrando una montura muy larga

Para medir las posiciones de los planetas y estrellas con los telescopios de esa época, se requería; de un buen momento de observación: con buena visibilidad, un cielo estable desde el punto de

vista atmosférico y meteorológico, y además mantener el telescopio apuntado muy firmemente, muy estable, con la mayor precisión en las coordenadas que definían su posición, y antes de que la rotación de la Tierra sacara al objeto del campo visual era necesario ajustar exactamente la retícula del el ocular sobre el objeto, y por si fuera poco anotar el preciso momento del suceso observado de acuerdo al reloj que marcaba la hora universal, y todo esto con la mayor precisión posible. Cada vez se requerían telescopios más grandes y potentes, para obtener más y mejor luz. Pero como consecuencia, entre más grande fuera el telescopio más difícil se hacía montarlos, apuntarlos y manejarlos con precisión.

En 1672, Cassegrain propuso un telescopio reflector con un espejo secundario pequeño y convexo para reflejar la luz de regreso a través de un agujero central en el espejo principal, Cassegrain ideó este arreglo óptico que solucionaba definitivamente el problema de tener tubos largos: El espejo primario tenía un agujero en la zona central, con el espejo secundario paralelo al primario, así que se podía observar desde atrás del primario, como si se tratase de un telescopio refractor. En el diseño mejorado de 1672 del telescopio reflector del francés Cassegrain, el espejo primario era una parábola, igual que en el de Gregory, pero el espejo secundario era de forma hiperboloide convexa, en lugar de elipsoide cóncava, para reducir la longitud del tubo y formar la imagen detrás del espejo primario, así con un tubo más corto, pero una distancia focal más larga, y el espejo que es la parte más pesada en el fondo del tubo, se pudo tener un telescopio poderoso que se soportaba en una montura estable. Sin embargo, a pesar de sus ventajas en cuanto a la facilidad de observación y estabilidad de la montura, al igual que en el caso de Gregoriano, y a causa de las limitaciones tecnológicas de la época, tuvieron que pasar varios años para que el diseño de Cassegrain

- pudiera fabricarse. Hoy en día este diseño, es la base de la mayoría de los telescopios en el mundo.

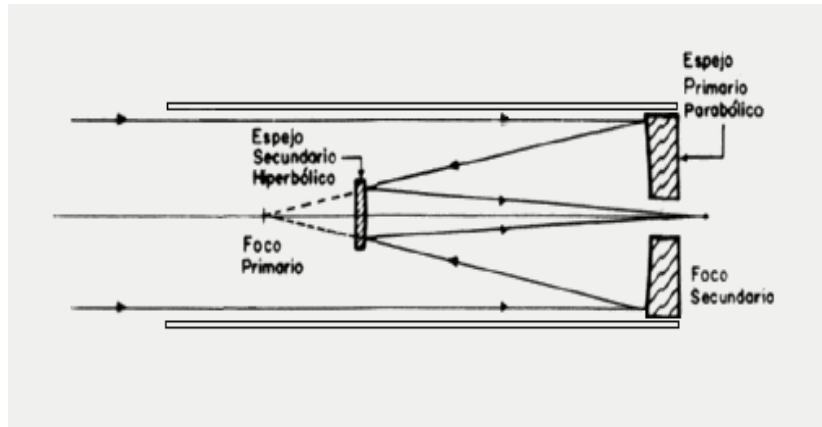


Fig. 16 Esquema del telescopio Cassegrain.

El primer telescopio reflector realmente efectivo, por su alto grado de perfección, fue construido por John Hadley en 1722. Con este telescopio se pudo medir el diámetro angular de Venus. Como la relación entre la distancia focal y su diámetro en el telescopio de Hadley era grande, no fue necesario darle forma parabólica al espejo primario, sino que fue suficiente con una forma esférica. Con este telescopio se efectuaron observaciones que desembocaron en descubrimientos astronómicos tales como la división y sombra de los anillos de Saturno, la sombra proyectada sobre Júpiter por sus satélites y muchos otros fenómenos más. Bajo el liderazgo de Hadley se logró un gran avance en las técnicas para el pulido de espejos metálicos.

A pesar de todas estas dificultades en 1776 Wilhelm Herschel construyó un telescopio reflector de seis metros de largo al que luego se le conoció como el reflector “pequeño”. Este “pequeño” tenía una montura muy primitiva, estaba montado en un mástil como

se acostumbraba un siglo atrás, sus movimientos se efectuaban con poleas y cuerdas, al ser un reflector tipo newtoniano, el ocular quedaba en la parte superior de manera que había que subirse a una escalera para observar, desde ahí se podía mover un poco el ángulo vertical, pero para mover en azimut era necesario bajar de la escalera y tantearle un poco para volver a subir a comprobar si se había logrado el objetivo de enfocar al objeto deseado. No obstante estos inconvenientes, los telescopios seguían creciendo, el propio Herschel más tarde construyó “el grande”, un telescopio que fue muy famoso por su tamaño, por su montura, por sus descubrimientos, por su calidad y por muchos otros factores, que lo convirtieron en hito de la astronomía.

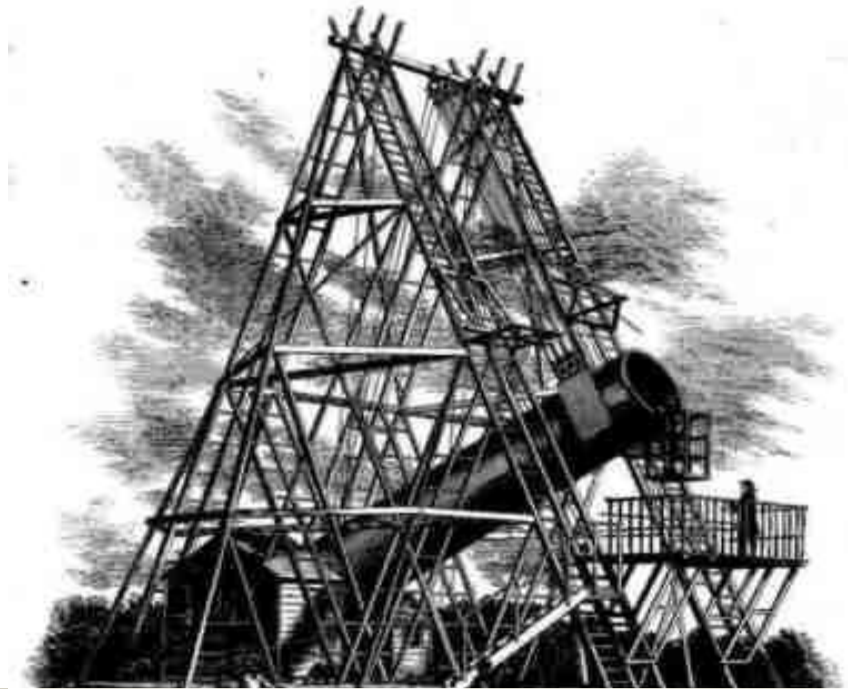
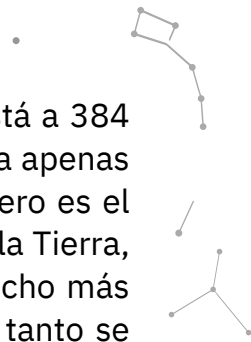


Fig. 17 Telescopio de Herschel “El Grande”.



Para continuar creciendo en el cielo era necesario resolver el problema de las monturas de los telescopios. Por la propia definición y establecimiento de las coordenadas celestes, se veía claro que la mejor alternativa para montar un telescopio, consistía en hacer una montura tal que, manteniendo la mayor rigidez y estabilidad que requiere un telescopio para que sus movimientos sean precisos, lograra además que estos movimientos correspondieran con los de las coordenadas celestes, y que el eje de la montura coincidiera con el eje de rotación de la Tierra, de tal manera que, una vez establecida la coordenada de elevación en la montura del instrumento, bastaría sólo con mover el otro eje correspondiente al de la rotación de la Tierra para compensarla y así mantener el objeto enfocado. Una montura mecánica con tales características de precisión, rigidez y estabilidad tuvo que surgir evidentemente de los especialistas Alemanes en mecánica de precisión. Lo que los alemanes hicieron fue establecer un eje coincidente al de la rotación de la Tierra, es decir un eje que coincidiera con el eje que va del polo norte al polo sur y sobre el cual gira la propia Tierra, sólo hay dos lugares en el globo donde esto sucede: Son los propios polos, pero ahí no se puede poner un telescopio, entonces tomando en cuenta que los telescopios son para se observar objetos muy lejanos a la tierra, y que en cualquier lugar del mundo se puede alinear un eje paralelo al eje polar de la Tierra, de manera que este eje se pueda considerar como el eje polar mismo, ya que en comparación con las distancias a las que se está observando, la distancia desde la superficie de la tierra donde se alineó este eje hasta el eje polar real es comparativamente insignificante y se puede despreciar. Es decir desde cualquier lugar en la superficie de la tierra donde se ponga un telescopio, con la condición de que su eje polar sea paralelo al propio eje polar de la tierra, sólo puede haber como máximo una distancia de un radio terrestre que son como 6,300 kilómetros, esta distancia es considerablemente pequeña comparada con, digamos, con la distancia a



la Luna, que es el cuerpo más cercano a la Tierra y que está a 384 mil kilómetros, la relación entre estas distancias representa apenas un 1.6 por ciento de error, este es un error significativo, pero es el máximo error posible y lo es para el cuerpo más cercano a la Tierra, de manera que para todos los demás objetos celestes mucho más lejanos que la Luna el error es prácticamente cero, por lo tanto se puede considerar que cualquier eje sobre la superficie terrestre que sea paralelo al eje de la Tierra se comporta prácticamente como si fuera un eje sobre el propio eje polar de la Tierra, por esta razón a este eje de los telescopios con este tipo de montura se le llama el eje polar y por lo tanto si el eje polar está bien alineado, basta con rotarlo en sentido contrario a la rotación de la tierra para guiar un telescopio y mantenerlo apuntado a un objeto en el cielo.

Las primeras monturas con este tipo de eje polar se llamaron monturas alemanas y en general todas las que tienen el eje polar se llaman monturas ecuatoriales. Hay que hacer algunas consideraciones importantes respecto a este eje polar de los telescopios, la primera es que compensando la rotación de la Tierra se podría pensar que debe rotar en sentido contrario al eje de la Tierra y a la misma velocidad que gira la Tierra, es decir a razón de una vuelta en 24 horas, pero no es así, ya que como sabemos en un día la tierra no sólo rota sino que también se traslada alrededor del Sol, recorriendo una distancia que es mayor a la de la rotación pura, por eso al paso de en un día solar, no se regresa exactamente al mismo meridiano, la rotación del eje polar del telescopio debe corresponder por lo tanto la del día sideral, con lo que el eje deberá estar rotando de acuerdo al tiempo sideral convirtiéndose así en un reloj sideral, y por consecuencia el eje del reloj sideral será el propio eje polar que mide entonces, exactamente igual que la coordenada de ascensión recta, las horas minutos y segundos de ascensión recta (A.R). Esta otra condición facilita enormemente el movimiento y el



posicionamiento de un telescopio que tenga una montura con un eje polar girando a la velocidad del reloj sideral. La otra consideración importante respecto al eje polar es que en cualquier lugar de la Tierra en que coloquemos un telescopio, el eje polar por ser paralelo al eje terrestre, estará alineado en dirección norte sur haciendo un ángulo con la superficie horizontal de la Tierra, este ángulo será entonces, exactamente correspondiente a la latitud del lugar donde esté el telescopio, dado que si estuviéramos exactamente en el polo un eje paralelo al de la Tierra estaría exactamente apuntando hacia arriba es decir a 90 grados con la horizontal, que corresponden a los 90 grados de latitud del polo, y en cambio en el ecuador un eje paralelo al terrestre estaría horizontalmente apuntando en la dirección norte sur y formando un ángulo de cero grados con la horizontal, correspondientes a la latitud de cero grados en el ecuador. Por lo que se ve claramente que en cualquier otro punto sobre la superficie terrestre, el eje polar formará un ángulo con la horizontal que corresponde exactamente a la latitud del lugar. Esto por supuesto implica que antes de hacer la montura ecuatorial para un cualquier telescopio es necesario saber exactamente cuál es la latitud del lugar donde se va a colocar el instrumento, con lo que ese telescopio particular no se podrá mudar a otro lugar de latitud diferente sin tener que modificar la inclinación de su eje polar, algunos ajustes finos se hacen al el eje polar al momento de instalar el telescopio, pero sólo son de algunas fracciones de grado.

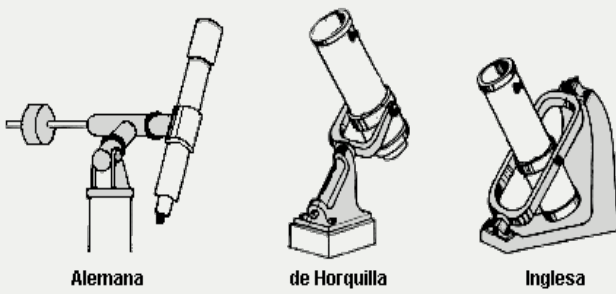


Fig. 18 Monturas de telescopios.

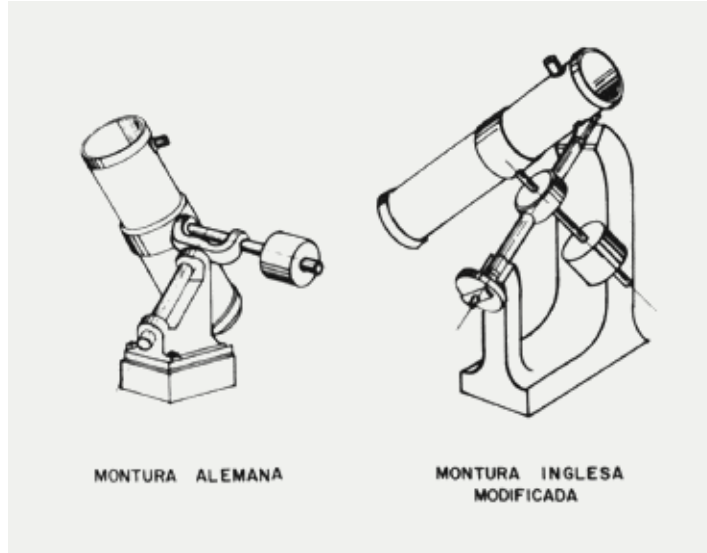


Fig. 19 Otras monturas .

Las primeras monturas alemanas tenían un pedestal muy pesado y masivo en el que se colocaba el eje polar embalado sobre chumaceras con cojinetes de precisión, el eje polar en su extremo superior correspondiente al norte tenía otro grupo de chumaceras perpendiculares al eje polar para soportar el otro eje, sobre este segundo eje, que corresponde a la coordenada de declinación, podía rotar una barra sólida, en uno de cuyos extremos se montaba el tubo del telescopio, mientras que en el otro extremo se ponían las pesas suficientes para balancear ambos lados. De esta forma con dos



ejes perpendiculares uno de ellos el polar y el otro de declinación correctamente alineado se podía guiar el telescopio con gran precisión y facilidad, sin embargo dado que el tubo del telescopio estaba soportado por un solo y único lado, todo el instrumento quedaba en cantilever o voladizo a merced de las vibraciones y había que evitar tocarlo y hasta caminar cerca de él, para no provocar vibraciones, pronto los ingleses mejoraron la montura colocando dos pedestales, uno al norte y otro al sur, para darle dos puntos de apoyo al eje polar y en consecuencia mayor rigidez a todo el conjunto, mientras que el tubo del telescopio se apoyaba en dos lados dentro de una especie de cuna que formaba parte del propio eje polar, empero tanto el segundo pedestal como la cuna obstruían la visión del telescopio cuando éste se apuntaba hacía el norte, la siguiente modificación fue regresar al eje de declinación con un solo apoyo para el telescopio de un lado y los estorbosos contra pesos del otro, con eso se ganaba todo el espacio para apuntar hacía el polo celeste pero se volvía a presentar el problema de la vibración. Finalmente se implantó una horquilla que soportaba al telescopio en ambos lados con ejes que le permitían girar en declinación, mientras que en la base de la horquilla estaba el eje polar. Este tipo de montura es muy usado y permite observar por el extremo trasero del telescopio cuando se trata de un telescopio cuyo diseño óptico forma la imagen en la parte posterior como los del tipo Cassegrain, no obstante se requiere de un muy buen balanceo ya que el tubo queda también en cantilever o voladizo. Una montura más elaborada combina una cuna con una horquilla que no deja al tubo en cantilever, y que permite ver hacía el polo, aunado a cimentaciones especiales e independientes para los pedestales que no transmiten las vibraciones del tránsito o el caminar sobre el piso del observatorio, este sistema se usó mucho y con éxito en los grandes telescopios del siglo XX. A pesar de las grandes ventajas de tener un eje polar en el telescopio la parte mecánica continuó siendo un

problema difícil de resolver, hasta que los controles computarizados se hicieron cargo los complicados movimientos para compensar la rotación de la tierra que la montura en alta azimuth requiere y permitieron regresar a la estabilidad que el sistema proporciona.

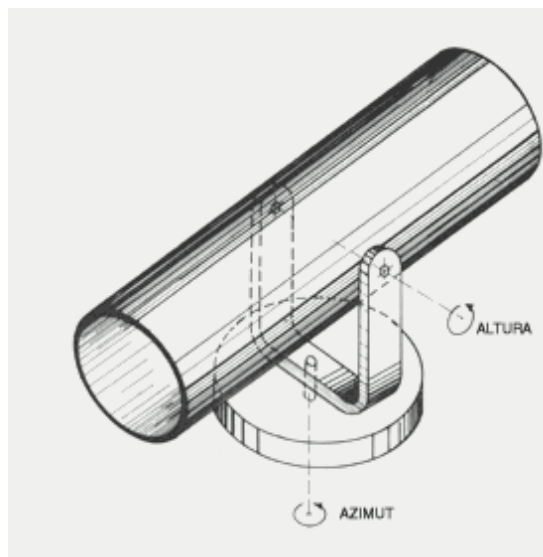
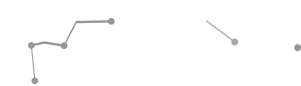


Fig. 20 Montura alta azimuth.

En la actualidad la mayoría de los proyectos de grandes y pequeños telescopios en el mundo, consideran la montura alta azimuth controlada por computadora como la única alternativa real para guiar un telescopio sin importar si es de gran tamaño, o sólo pequeño y hasta se pueden adquirir telescopios para aficionados de diferentes tamaños y potencias con monturas alta azimutales que cuentan con su propio sistema de guiado computarizado que y hasta tienen un sistema GPS con el que encuentran su posición en el globo terráqueo, apuntan al objeto deseado y lo siguen con precisión matemática, sin necesidad de monturas complicadas ni alineaciones tediosas. Con



- las coordenadas celestes definidas y los telescopios mejorando en su mecánica y su óptica solo faltaba una de las disposiciones más importantes tanto para la astronomía como para la navegación: Era un acuerdo general para el establecimiento del meridiano cero, o meridiano de referencia.



Ya desde el año 150 DC el cartógrafo Ptolomeo había elaborado un atlas geográfico consistente en 27 mapas y fue capaz de establecer en el atlas muchos sitios conocidos con su respectiva latitud y longitud, estableció la línea del meridiano cero a su criterio en El Hierro en lo que ahora son las Islas Canarias, aunque otros cartógrafos lo fueron colocando en Las Azores, las islas de Cabo Verde, luego en Roma, Copenhague, Jerusalén San Petersburgo, Filadelfia, Pisa, París y finalmente En 1884 la Conferencia Internacional de Washington sobre el estudio de los Meridianos estableció Greenwich como sede convencional del Primer Meridiano de longitud cero; que se implantó, como era de suponerse, en Inglaterra, específicamente, en Greenwich donde se construyó el observatorio que hasta la fecha marca el meridiano cero de referencia y la hora universal. La línea del meridiano cero sin embargo puede ser cualquiera que a cada quien convenga, pero la ventaja de que esté en Greenwich implica desde luego que existe un meridiano 180° justo al otro lado del mundo del meridiano cero, en el que además la fecha cambia en un día. Ahí se puede estar, oficialmente, con un pie en un día y el otro en el día anterior, el meridiano 180 de cambio de fecha quedó convenientemente situado en medio del Océano Pacífico, lejos de cualquier país que pudiera tener el problema no sólo de establecer su hora oficial sino también su fecha oficial, sólo algunas islas están en ésta situación y en la actualidad tienen convencionalmente bien definidos sus horas y fechas. Cuando se cruza el meridiano 180 resulta muy curioso experimentar no sólo el cambio de horario, sino también el cambio de fecha al cruzar éste meridiano. El gran escritor Italiano

Umberto Eco en su novela “La Isla del Día de Antes” hace un relato muy interesante de las situaciones que les suceden a unos náufragos varados entre dos islas separadas por el meridiano 180.

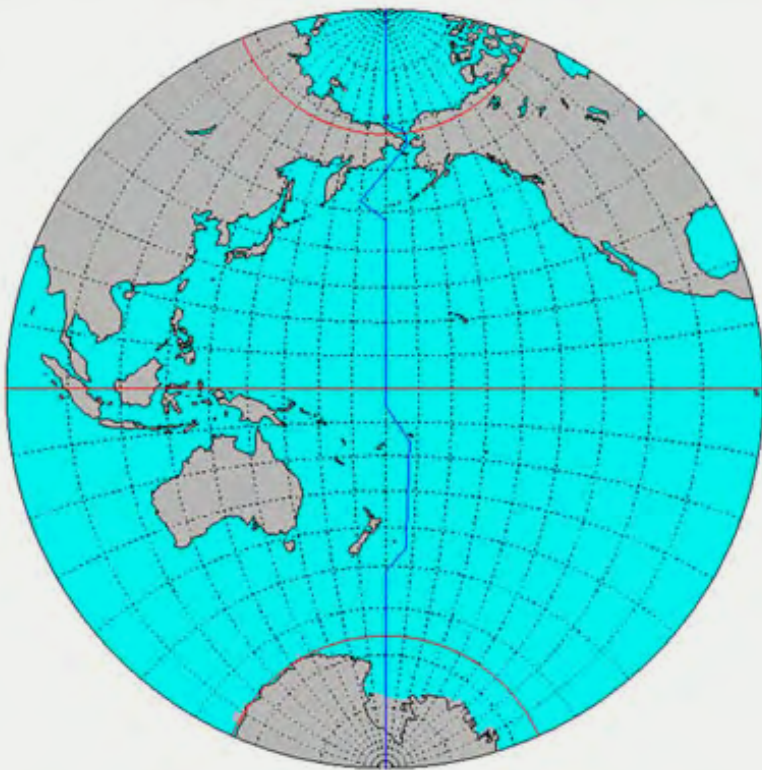


Fig. 20 En octubre de 1884, con las rutas comerciales del Pacífico bien establecidas y muy transitadas, una convención de 25 países se reunió en Washington para elegir de una vez por todas el meridiano principal universal. Desde entonces la longitud geográfica se mide desde el meridiano de Greenwich (Inglaterra). Pero nadie se molestó en trazar oficialmente la línea de cambio de fecha. Ésta sigue siendo hoy en día un acuerdo tácito y cualquier país la puede mover a su conveniencia sin pedir permiso.

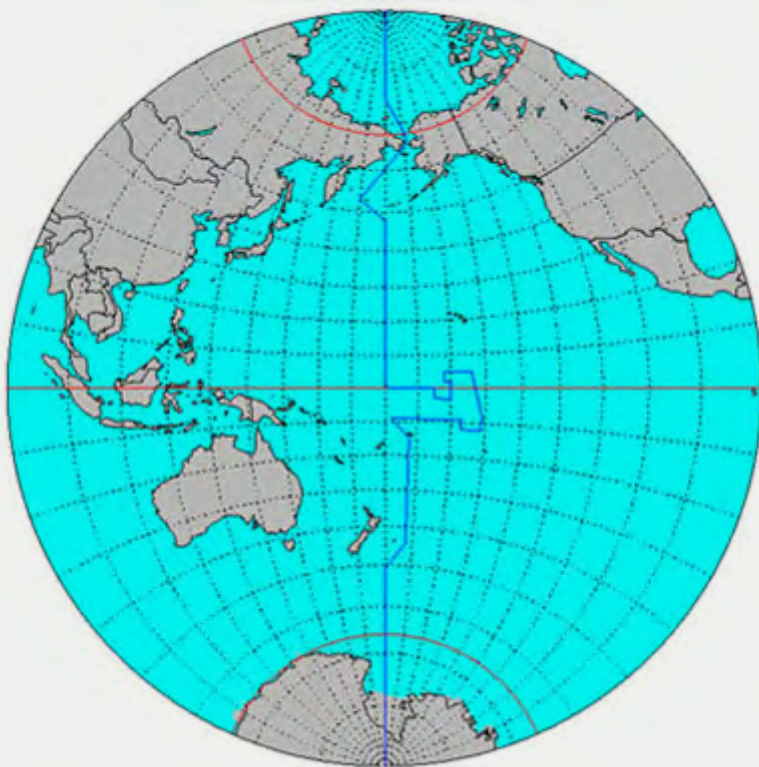
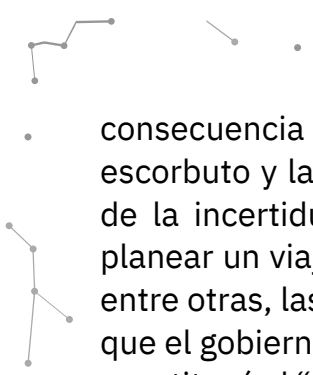


Fig. 21. La modificación más reciente a la línea internacional de cambio de fecha data de 1995, cuando la república de Kiribati decidió desplazarla más de 3000 kilómetros hacia el este en su latitud. Kiribati es un conjunto de cientos de islas desperdigadas por una gran extensión del Pacífico. La línea internacional de cambio de fecha dividía al país en dos, de modo que, entre otras cosas, sólo había cuatro días hábiles comunes a la semana entre las dos mitades: cuando en el oeste era lunes, en el este era domingo y cuando en el este era viernes, en el oeste ya era sábado. Incómoda situación, pero así son las cosas en un mundo en el que siempre es hoy y mañana al mismo tiempo.

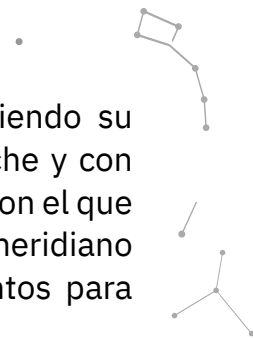


Fig. 22 El asunto del meridiano de cambio de fecha.

El parlamento Inglés instituyó en 1714. “El Comité de la Longitud” que ofreció un premio de diez mil libras a quien aportara una solución práctica al problema de hallar la longitud con una precisión adecuada. La cantidad ofrecida aumentaba hasta llegar a las veinte mil libras si la precisión era mejor. En antiguo y grave problema de determinar la coordenada de longitud en el mar tomó mucha importancia, después de varios accidentes catastróficos sufridos por navegantes de todo el mundo, que al perder la noción de la longitud acababan encallando o precipitándose contra arrecifes, obstáculos o farallones de los cuales se creían a salvo, pero no lo estaban por la incertidumbre de los cálculos de su posición respecto a la longitud. En una ocasión un grupo de naves inglesas regresaba triunfante de una batalla contra la flota francesa, pero bastaron unos minutos para que todas las naves, menos una se hundieran al chocar contra farallones de la islas Sorlingas británicas (Scilly), donde debían recalar para celebrar la victoria; la poca visibilidad, la imprecisión de su coordenada de longitud y el arrastre por un mal tiempo, provocaron que el triunfo se convirtiera en derrota, la muerte de más de dos mil marinos incluido el propio capitán alarmó a todo el mundo. En otras expediciones los barcos se perdían por varios días en busca de sus puertos, y como



consecuencia de su retraso al encontrar el camino de regreso; el escorbuto y la falta de agua potable cobraban muchas vidas, amén de la incertidumbre de no saber dónde se estaba, era imposible planear un viaje adecuadamente. Por estas razones, y muchas más, entre otras, las airadas protestas de los comerciantes y marinos, fue que el gobierno británico planteó la situación al parlamento y que se constituyó el “Comité de la Longitud” El Comité, por supuesto, acudió inmediatamente al mayor genio de la época, Sir Isaac Newton, que ya ostentaba el título de “Sir” y tenía por entonces 72 años, y a su amigo Edmund Halley, que se había pasado un buen tiempo en la isla santa Helena del pacífico sur, precisamente para completar un catálogo de las 300 estrellas más importantes de ese hemisferio, éste trabajo de Halley le valió su admisión a la Real Academia de Ciencias. Newton contestó que el problema ya estaba resuelto astronómicamente, pero que no existían los medios tecnológicos para ejecutarlo. Ya que no había instrumentos adecuados para hacer observaciones precisas a bordo de un buque en movimiento para determinar la longitud. En cierto modo estaba en lo correcto, pero Newton siempre insistió en hacer observaciones simultáneas de sucesos celestes, tales como eclipses lunares o el movimiento de la Luna a través del cielo, para determinar la hora de referencia, sucede que el problema de la longitud se reduce a preservar la hora del meridiano de referencia a bordo del buque y compararla con la hora local del mismo, para entonces se pensaba que si un eclipse sucedía a una hora específica en un meridiano, ese mismo eclipse se observaría a un hora local distinta en otra parte, como por ejemplo a bordo de un buque, de manera que encontrando la diferencia entre las horas registradas del suceso se podía conocer la ansiada longitud, todo esto es por supuesto cierto, pero ¿Cuántos eclipses se pueden observar en una travesía común? El otro asunto era observar el desplazamiento de la Luna sobre la bóveda celeste con respecto a las estrella fijas, ya que se sabe que la luna se desliza sobre el fondo celeste a una



velocidad de un diámetro lunar por hora, entonces midiendo su desplazamiento con respecto a las estrellas durante la noche y con respecto al Sol durante el día se tiene un reloj muy preciso con el que se puede mantener la hora del meridiano de referencia o meridiano cero. El problema según Newton era tener los instrumentos para hacer las observaciones precisas a bordo del barco.

La astronomía se convirtió en la mejor amiga del navegante; junto con el telescopio, la brújula, la invención del cuadrante en 1731, la determinación de la meridiana y las cartas del cielo. Ya para entonces conocer la latitud de un punto, tanto en tierra firme como en el mar, era cuestión de rutina, bastaba con medir el ángulo de la estrella polar durante la noche, o con medir el ángulo del Sol durante el mediodía así, junto con las efemérides astronómicas, la coordenada de latitud quedaba establecida para los navegantes del hemisferio norte, que además sabían que si estaban más al norte del trópico de cáncer, el Sol estaría al sur justo al medio día. Por otra parte en el hemisferio sur no hay una estrella específica que como en el caso de la polar esté casi exactamente en el propio polo, pero la constelación de la Cruz del Sur se encuentra lo suficientemente cerca del polo para poder medir la latitud después de hacer unos ajustes con las efemérides o cartas estelares. Para ayudar más a la navegación en 1725 se publicó el catálogo estelar británico del astrónomo real John Flamsteed con la recopilación y efemérides de 3,000 estrellas. El rey Charles II ya le había asignado esa tarea a Flamsteed desde el mismo momento en que se ordenó la construcción del observatorio de Greenwich el 10 de julio de 1676 el objetivo principal de este observatorio era la astronomía náutica, es decir atacar y resolver el problema de la coordenada de longitud, el observatorio contaba, entre otros instrumentos, con dos magníficos y precisos relojes con péndulos de cuatro metros de longitud que oscilaban cada dos segundos.

Flamsteed recabó mucha información en este observatorio y el catálogo de estrellas que elaboró se publicó póstumamente en 1725 además, llegó a observar Urano en 1690, pero equivocadamente lo consideró una estrella más. Este planeta fue identificado como tal por William Herschel en 1781. usando su famoso telescopio grande.

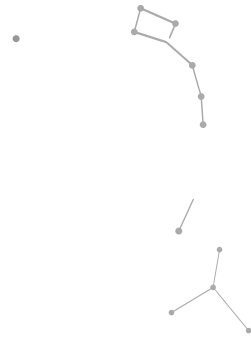


Fig.23 El observatorio de Greenwich

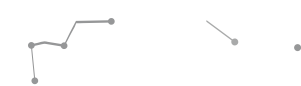
Por esa época una elite de matemáticos estudiaron las ecuaciones diferenciales y las series convergentes con el fin de resolver el problema de los tres cuerpos, entre otros se encontraban: D ´Alambert, que había sido abandonado de niño en el quiosco de la iglesia, y que participó en la ilustración, el suizo Leonard Euler quien tuvo como patrocinadores a Catalina la grande y a Federico el grande en Rusia y Alemania respectivamente, quien definió los logaritmos naturales y el número “e”.



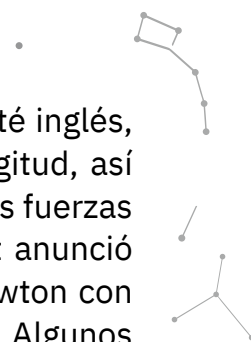
Fig.23 y 24 La línea del meridiano cero en Greenwich, donde es posible tener un pie en un DIA, año o siglo y el otro en el siguiente día, año o siglo.



Y el precoz Claude Clairaut que a los 12 años ya era miembro de la academia de ciencias de París y que estableció las causas de la forma de la tierra con el ecuador abultado y los polos achatados, además de José Luis Lagrange nacido en Turín y descubridor de los puntos que llevan su nombre y que se usan en la actualidad para colocar satélites geoestacionarios y que estableció el teorema del valor intermedio. Pierre Simon Laplace, creador de la famosa transformada



que lleva su nombre y del determinismo científico. Todos estos científicos estaban tratando de usar la posición de la Luna como un gran reloj universal que permitiera a los marineros establecer la hora universal, basándose en tablas precisas que indicaran la posición de la Luna a una hora determinada del meridiano cero, sin embargo se observó que la rotación de la Luna presentaba alteraciones, principalmente porque sus áspides, que son los puntos del perigeo y el apogeo de la órbita lunar, se van desplazando en una rotación de 9 años, por lo que era necesario encontrar una relación matemática que predijera la posición de la Luna con precisión tomando en cuenta este extraño movimiento. Ya mucho antes, dos de los célebres miembros de la prestigiosa familia suiza de científicos Bernoulli, Jacobo y Johanes habían propuesto cuatro ecuaciones diferenciales básicas para resolver el problema de los tres cuerpos, sin embargo ni siquiera Newton fue capaz de resolverlas, y mucho peor parecía que el enfoque matemático, ¡contradecía la ley inverso cuadrática de la gravitación universal! Claude Clairaut introdujo un término extra a la ley de Newton, y encontró un periodo de rotación de los áspides de 18 años en vez de los nueve observados, esto puso en jaque a la ley de Newton pues parecía decir que las leyes que gobiernan la caída de una manzana en la Tierra no son las mismas para la gravitación de la Luna, pero de acuerdo a muchos otros pensadores la sacrosanta ley de la gravitación universal de Newton ¡no podía estar equivocada! Leonard Euler dijo que él también había notado discrepancias con la órbita de Saturno desde 1725 y ya en 1747 proponía la revisión de la ley de la gravitación, puesto que tampoco explicaba las alteraciones observadas de la órbita de Mercurio. D' Alembert interesado en el asunto escribe también un artículo, pero antes de publicarlo consulta con Euler y Clairaut. Se establece una especie de duelo entre todos estos genios para tratar de resolver el problema de la rotación de los áspides y establecer unas tablas precisas que ayudaran a la determinación de la longitud en los barcos. Todos estos genios y muchos más,



animados por la posibilidad de obtener el premio del comité inglés, trabajaron arduamente en el asunto de determinar la longitud, así como en los movimientos de los planetas producidos por las fuerzas de gravitación establecidas por Newton. En 1749 Clairaut anunció que había encontrado la reconciliación de las leyes de Newton con las posiciones observadas con el telescopio el 17 de Mayo. Algunos de los participantes se asociaron para lograr la solución al problema, mientras que otros se obstruían y ponían trabas entre sí. A partir de todos estos análisis se desarrolló mucha de la técnica matemática para manejar las series. Las observaciones hechas con telescopios cada vez más precisos llevaban al intelecto humano a dar frutos en la matemática más pura y refinada de la época, estos frutos han sido desde entonces de gran utilidad en el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Mientras tanto en Goettingen el profesor Tobías Mayer que era astrónomo aficionado, aplicó las ecuaciones desarrolladas por Euler para los movimientos de la Luna, y pudo hacer unas tablas que precisaban las posiciones lunares. Mayer envió sus tablas al Comité de la Longitud con el propósito de que efectivamente se usaran como un gran reloj lunar en las embarcaciones, con esto pretendía participar en el concurso. La guerra detuvo los trámites por siete años pero Mayer siguió mejorando sus tablas hasta su muerte. Cuando la guerra terminó Mayer ya había muerto, pero su viuda recibió tres mil libras del parlamento inglés, Euler fue premiado por su participación con 300 libras que ni siquiera esperaba, puesto que no sabía que Mayer había usado sus ecuaciones para hacer las tablas.

Finalmente se tuvo que reconocer que la verdadera solución práctica al problema de establecer la longitud, consistía en tener un reloj a bordo lo suficientemente preciso para conservar la hora de Greenwich y poderla comparar con la hora local. Los relojes más precisos de la época funcionaban con el principio del péndulo, que es una consecuencia de la gravedad, ya que el periodo de oscilación de un péndulo



depende de la aceleración de la gravedad y de la longitud propia del péndulo, muchos ensayos se hicieron con péndulos pero estaba claro que para que un péndulo fuera preciso se requería que estuviera en completo reposo, es más, se necesita que la gravedad sea la misma, de manera que si un mismo reloj de péndulo se hace funcionar al nivel del mar donde la aceleración de la gravedad es mayor, sus periodos serán distintos que si se hace funcionar a la altura de una montaña donde la aceleración de la gravedad es menor, por eso los péndulos de los relojes tienen ajustes finos para cambiar el largo del propio péndulo y ajustarlos al lugar donde funcionan, además de la altura sobre el nivel del mar, a los relojes de péndulo les afecta la latitud, el porqué de esto no era muy claro, hasta que se comprendió y se demostró que la tierra estaba abultada en el ecuador y achatada en los polos, por lo que la aceleración de la gravedad cambia por esta condición con la latitud. Los relojes del observatorio de Greenwich, por ejemplo, tenían péndulos muy largos hasta de cuatro metros con amplitudes muy cortas para reducir el error de paralelismo en la aplicación de la fuerza de gravedad y con batidos de dos segundos por ciclo, los péndulos estaban encerrados en cabinas especiales para evitar que las corrientes de aire pudieran influir en su precisión la forma era aerodinámica para que presentaran la menor resistencia al aire en su vaivén. Con todas estas necesidades para mantener la precisión era impensable llevar un reloj de péndulo a bordo de un barco y esperar que conservara la hora correctamente.

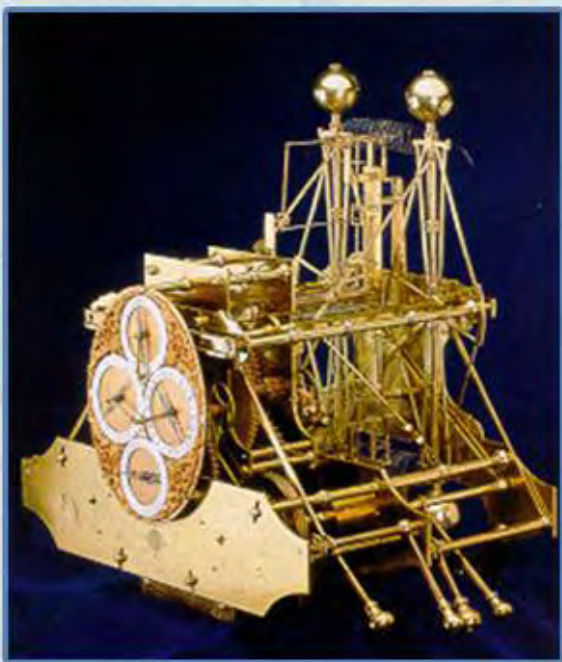
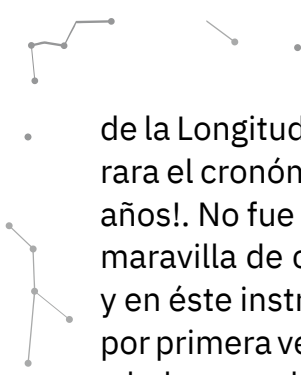
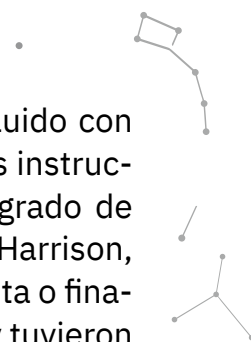


Fig. 25 Reloj de navegación construido por John Harrison, actualmente en el museo de Observatorio de Greenwich.

La solución al problema de la longitud se empezó a gestar el día que el fabricante de relojes John Harrison escuchó en el puerto a un marino mencionar el problema y el ofrecimiento del comité de la longitud de premiar con diez mil libras a quien lo resolviera. Harrison era un autodidacta constructor de relojes de gran precisión, él y su hermano hacían relojes que firmaban y que aún en nuestros días funcionan en museos, pero también en algunas torres. En 1735 presentó el primer reloj marino al que llamó el cronómetro H 1, se trataba de un reloj con dos péndulos invertidos rematados con pesadas bolas de bronce que se mecían al unísono alejándose y acercándose, tenía cuatro carátulas que mostraban; horas, minutos, segundos y el día del mes. Estaba construido en su mayor parte por piezas de bronce para evitar la oxidación, pesaba más de 30 kilogramos y tenía una altura de un metro, pero se mantenía funcionando aún cuando se inclinaba con los movimientos del barco. Se probó en un viaje a Portugal y el Comité



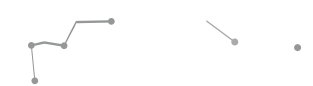
de la Longitud le dio a Harrison 250 libras de adelanto para que mejorara el cronómetro marino, y continuó dándole adelantos por casi ¡30 años!. No fue hasta 1764 que Harrison pudo construir una verdadera maravilla de cronómetro era prácticamente de bolsillo lo llamó H-4, y en éste instrumento redujo la fricción de las piezas móviles usando por primera vez joyas como el rubí y el diamante a manera de cojinetes o baleros en los ejes de las ruedas dentadas. Viajaron a Barbados en un barco de guerra, el H-4 cumplió con todas las especificaciones para ganar el premio. El parlamento, sin embargo, otorgó sólo diez mil libras a Harrison, con la promesa de darle otras diez mil una vez que pudiera fabricar más cronómetros H-4 que se desempeñaran con la misma precisión. Se establecieron varios observatorios, en diferentes partes del globo, para comprobar la precisión de los relojes de Harrison. y en todos los casos las pruebas fueron exitosas dentro de la tolerancia admitida. John Harrison, su hijo y sus hermanos que le ayudaron, habían triunfado al resolver el problema de la longitud. La astronomía, el telescopio, y la tecnología se unían para dar a la humanidad un mecanismo para viajar con más seguridad y precisión por todo el mundo. En el año de 1766 se publicó la primera edición del almanaque náutico, que fue desde entonces una especie de Biblia para el navegante. En la actualidad un dispositivo llamado GPS por sus siglas en inglés de *Global Positioning System*, puede determinar la posición de cualquier punto en la superficie terrestre, con una precisión de milímetros para aplicaciones militares y de centímetros para aplicaciones civiles, lo hace comunicándose con los satélites artificiales que orbitan la Tierra para obtener los que le permiten calcular la posición e indicando tanto las coordenadas geográficas como la altura del usuario en un corto tiempo, sin importar que esté nublado, se navegue en medio de una tormenta o se maneje el automóvil en una ciudad desconocida, el GPS lo puede guiar hasta su destino, inclusive dándole instrucciones habladas y mostrándole el mapa del sitio donde se halla, hasta hay dispositivos GPS que forman



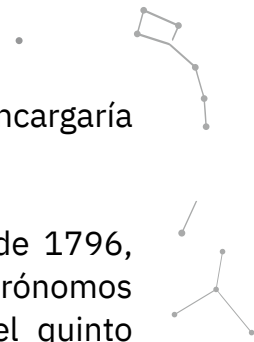
parte de teléfonos celulares y algunos autos lo tienen incluido con una computadora que le marca la posición el recorrido y las instrucciones para llegar a su destino. Pero llegar a hasta este grado de perfección requirió de la lucha de muchos hombres como Harrison, que aún sin tener al telescopio como su principal herramienta o finalidad, participaron en el perfeccionamiento del ojo mágico y tuvieron la posibilidad de triunfar en el campo de la ciencia y la tecnología que el telescopio ya había abierto para la humanidad.

Después de esta importante aportación que la astronomía con el telescopio dieron al mundo, aumentó aún el interés por descubrir y desarrollar más ciencia y tecnología, cada vez más y más gente se asomaba al ojo mágico para descubrir nuevos horizontes, y la investigación se desarrolló mucho, se observaba el cielo diferentes lugares y todos querían tener un observatorio ver el cielo descubrir cosas nuevas, el estudio de los planetas cobró gran importancia, ahora se podían ver mejor, se podían medir sus diámetros aparentes, se comprendía mejor su movimiento y se observaban las lunas de Júpiter y los anillos de Saturno, el Sistema Solar era el siguiente punto a estudiar, el siguiente escalón para crecer en los cielos.

De las observaciones de Júpiter con sus satélites, se desprende la idea de que este sistema es como un pequeño sistema solar con cuerpos girando alrededor del planeta, tal y como los planetas giran alrededor del Sol, además la gravitación ya explicaba el porqué tenía que haber espacios vacíos entre cada planeta alrededor del Sol o entre los satélites de Júpiter. Ya que de haber materia existente en los espacios vacíos ésta se vería sujeta a fuerzas gravitacionales que la llevarían a caer ya sea a uno u otro de los cuerpos orbitando. Por lo tanto, es una consecuencia natural, que haya distancias específicas entre los planetas orbitando alrededor del Sol y entre los satélites orbitando alrededor de planetas. Una primera forma de establecer



estas distancias fue la Ley de Titius Bode, conocida ahora como la relación de Bode. En 1766 Titius y Bode tratando de explicar el porqué de las distancias entre las órbitas de los planetas, se puede decir que casi forzaron a una relación aritmética entre ellas, tomando la distancia del Sol a la Tierra como la unidad y estableciendo una sucesión de números que daba la distancia de la órbita de un planeta en relación con el siguiente. La sucesión aritmética consiste en escribir primero el cero, luego el tres y luego continuar siempre con el doble del número anterior, es decir: 6, 12, 24, 48 etc. De esta forma la sucesión queda como: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96... Luego se suma 4 a cada número para obtener: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100... y finalmente se divide cada número entre 10 para llegar a: 0.4, .0.7, 1.0 1.6, 2.8, 5.2, 10... Resulta que esta es la relación aproximada de las distancias a las que se encuentran los planetas en relación al Sol, con la Tierra en tercer lugar a una distancia correspondiente a la unidad, esta unidad hasta la fecha se llama unidad astronómica, se abrevia U.A. y corresponde a unos 150 millones de kilómetros. En aquella época sólo se conocían los planetas clásicos Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno la distancia expresada en U.A de estos planetas respecto al Sol es la siguiente: Mercurio 0.39, Venus 0.72, La Tierra 1.0, Marte 1.52, luego ¡Hay un hueco sin planetas a la distancia de 2.8 U.A.! Donde de acuerdo con la sucesión de Bode debería estar un planeta que no existe, pero en seguida aparece Júpiter precisamente a 5.2 U.A. y luego Saturno a 10. Pero más sorprendente aún, fue el hecho de que cuando Urano fue descubierto por William Herschel en 1781, quince años después de la propuesta de Titus Bode, su distancia orbital también coincidió con la sucesión, ya que se halló precisamente a 19.2 U.A. lo que corresponde al siguiente número en la sucesión, la coincidencia fue tan precisa que desde entonces se llamó ley de Bode. Pero todavía quedaba la pregunta: ¿Dónde está el planeta perdido entre Marte y Júpiter que debía satisfacer la Ley de



Bode?... El telescopio manejado por manos expertas se encargaría de resolver esta incógnita.

Una de las recomendaciones del congreso astronómico de 1796, en Alemania, fue la búsqueda del planeta perdido. Los astrónomos se repartieron las zonas del cielo para la búsqueda del quinto planeta, y finalmente el 1 de enero de 1801, en el Observatorio de Palermo el monje Giuseppe Piazzi aunque no pertenecía a la comisión de búsqueda descubrió el asteroide Ceres el primero de miles de ellos. El día 3 de enero el nuevo objeto descubierto por Piazzi se había desplazado un tercio del diámetro de la Luna hacia el oeste. Creyendo que era un cometa, Piazzi no publicó su descubrimiento hasta el 24. Pero una vez calculada su órbita con la ayuda del gran matemático Gauss, resultó que el cuerpo celeste recién descubierto efectivamente orbitaba, entre Marte y Júpiter, y podría ser el cuerpo que faltaba según la ley de Bode, sin embargo resultó muy pequeño para ser un planeta. Piazzi tenía su observatorio en Palermo, y era el más al sur de Europa, sabía muy bien que la precisión de las observaciones dependía de la calidad del instrumento, pero también de la exactitud con la que se pudiera medir la posición de las estrellas usando la escala del dial del telescopio. Entonces animó a Jesse Ramsden, renombrado fabricante de instrumentos de precisión, a terminar su proyecto de construir un gran dial de un metro y medio con divisiones muy precisas. Ramsden, ya contaba con una excelente máquina divisoria de su propia fabricación, que fue la causa del éxito en la fabricación de los diales tan precisos. Con el gran círculo dividido de Ramsden montado al dial Piazzi no sólo logró el descubrimiento de Ceres, también clasificó cerca de 8,000 estrellas y detectó el gran movimiento propio de la estrella 61 Cygni. Friedrich Bessel, apoyado en estas observaciones, mide el desplazamiento de 61 Cygni. en diferentes épocas del año y logra por primera vez usando el paralaje trigonométrico, establecer la distancia a la estrella. Un

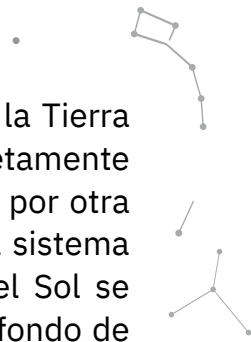


- buen telescopio, con un buen dial, una mecánica fina, y observadores acuciosos e inteligentes, lograban grandes propósitos.

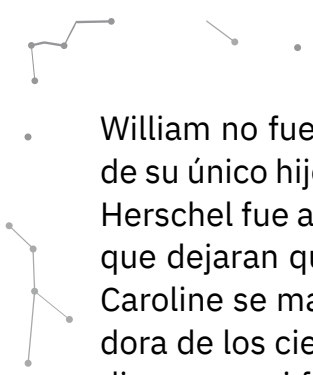


Muchos otros asteroides se descubrieron en el lugar del quinto planeta, el hecho de no encontrar un planeta sino muchos asteroides en ese lugar específico causó molestias y controversias. Algunos se preguntaban ¿Cómo era posible que el arquitecto supremo del universo hubiera dejado un lugar vacío donde debía estar un planeta? Los posteriores descubrimientos de los últimos planetas Neptuno y Plutón, no correspondieron en sus distancias con la Ley de Bode. Ahora se hacen intentos con las computadoras para encontrar una relación que concuerde con todos los planetas y asteroides, pero la Ley de Bode ha vuelto a ser sólo una sucesión numérica que casualmente funcionó durante un tiempo, o tal vez sólo fue forzada a hacerlo. Sin embargo el telescopio estaba ahí descubriendo y confirmando, precisando y también desengañando a la inagotable curiosidad del hombre.

Para hacer un buen telescopio en esa época se requería de mucha capacidad, conocimiento y paciencia, un organista de Hannover que era además autodidacta en la astronomía, contaba con esas cualidades, su nombre: Wilhelm Herschel, quien cambió su residencia a Inglaterra adoptando el nombre de William, él mismo construyó, sus telescopios el primero que hizo fue magnífico, tanto por su calidad como por lo que logró con él, Herschel se convirtió en un gran observador, y en un magnífico constructor de telescopios, contaba siempre con la ventaja de tener un muy buen telescopio, estaba interesado en estudiar las estrellas y ni siquiera se había enterado de las especulaciones sobre el quinto planeta faltante. Pero sabía que las estrellas están mucho más lejos que los planetas, y que por eso parecen fijas en el fondo de la bóveda celeste, ya que estando tan

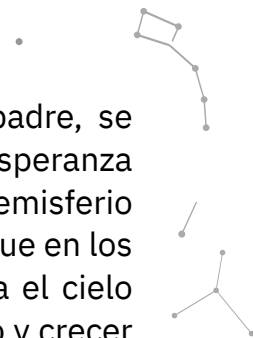


lejos sus movimientos propios nos parecen a nosotros en la Tierra sumamente lentos, tanto que se pueden considerar completamente fijas en periodos de tiempo tan largos como un siglo. Pero por otra parte los planetas están relativamente cerca girando en el sistema solar, y su movimiento propio de revolución alrededor del Sol se puede distinguir como un desplazamiento propio sobre el fondo de las estrellas aparentemente fijas en la bóveda celeste. Los planetas parecen vagar entre las estrellas fijas de un lado a otro, por esa razón los griegos los llamaron con el término planeta significa vagabundo. Con este principio en mente, si se veía que un objeto se desplazaba con respecto al fondo estelar del cielo, eso era una señal de que ese objeto estaba dentro del sistema solar con un movimiento propio, generalmente se creía que se trataba de cometas. El telescopio que Herschel construyó para sí era una bella obra de arte del tipo reflector newtoniano, con un largo de dos metros y una montura alta azimut, este telescopio resultó histórico, pues fue con él que se logró descubrir el primer planeta detectado con la ayuda de un telescopio. El 13 de marzo de 1781, durante su sistemática observación del cielo, pudo ver en la constelación de géminis, un objeto que inmediatamente le llamó la atención, pues era diferente, le pidió a su hermana Caroline que lo anotara en su bitácora como un objeto nebuloso, o tal vez un cometa. Los astrónomos profesionales de entonces ya lo habían confundido con una simple estrella, pero Herschel lo siguió observando hasta que reconoció su movimiento sobre el fondo celeste y finalmente lo reportó, fue entonces que muchos se pusieron a buscar algo que llamaran “el cometa de Herschel” y finalmente se proclamó la existencia del planeta Urano nombre que nunca le gustó al su propio descubridor. Después del descubrimiento la vida de Herschel cambió mucho para bien, el futuro le deparaba muchos más éxitos en la investigación y la construcción de telescopios.



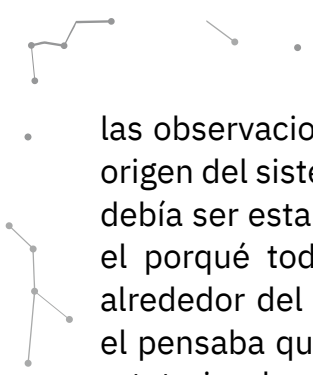
William no fue el único famoso de la familia, su hermana Caroline y de su único hijo John. Fueron astrónomos muy reconocidos también, Herschel fue a Hanover en 1772. Para visitar a sus padres y les pidió que dejaran que Caroline su hermana regresara con él a Inglaterra, Caroline se marchó con William, y se convirtió en una gran observadora de los cielos y cazadora de cometas, lo acompañó en sus estudios, y por si fuera poco se encargó de la casa hasta que William se casó, llegó a ser tan importante para el trabajo astronómico que el propio rey le asignó una pensión de 50 libras mensuales. Herschel le construyó un primer telescopio con campo amplio y amplificación de 2,000, que estaba pensado especialmente para que ella buscara cometas, le adaptó una montura que le permitía barrer el cielo por rebanadas cada cuatro días en busca de cometas, ella encontró su primer cometa en 1785 el segundo en 1788 y otros dos en 1790. Entonces William le construyó otro gran telescopio de 22 centímetros con un metro y medio de distancia focal, un telescopio de este tamaño para buscar cometas es realmente grande, aún en nuestros días, el telescopio tenía también un sistema de barrido y era fácil de mover sin necesidad de despegar el ojo del ocular. Con su nuevo instrumento Caroline descubrió tres cometas más y observó el regreso de otros más. Su trabajo abarcó también la depuración del catálogo estelar de Flamsteed. Cuando murió su hermano, ella regresó a Alemania, y se dedicó a ordenar el catálogo de nebulosas de su hermano, para que su sobrino John, hijo de William, lo pudiera aprovechar. Caroline Herschel recibió la medalla de oro de la Real Academia de Astronomía.

John W Hershel más tarde se destacó tanto o más que su padre fue gran matemático, elegido para pertenecer a la *Royal Society* cuando apenas tenía veintiún, fue posiblemente el más famoso y prominente científico de su época, al grado que las cartas llegaban a sus manos con sólo su nombre en el sobre, fue armado caballero y convertido

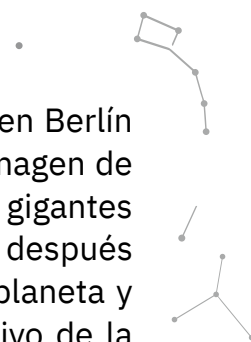


en Barón, heredó el gran telescopio de 40 pies de su padre, se restauró para que John lo instalara en el Cabo de Buena Esperanza para observar y catalogar las nebulosas y estrellas del hemisferio sur. John Herschel estaba más interesado en las estrellas que en los planetas, fue él quien hizo voltear a los astrónomos hacia el cielo profundo, para observar y estudiar la grandeza del universo y crecer en los cielos.

Una vez descubierto Urano varios astrónomos se dieron cuenta que el planeta ya había sido observado antes, pero fue confundido con una estrella más en el firmamento, entre los que lo habían observado estaban Tobías Mayer en 1756 y John Flamsteed desde 1690, lo mejor fue que ya habían registrado su posición, y por lo tanto sus valiosos registros, aunados a las nuevas observaciones, servirían para calcular mejor su órbita y la excentricidad de su elipse, así como para predecir sus posiciones futuras. Mucha gente interesada en la forma como funcionaba exitosamente la mecánica celeste de Newton gustaba de calcular y predecir las órbitas de los planetas, y un planeta nuevo era la ocasión perfecta para ejercitar el arte del cálculo y predicción celeste. Sin embargo el nuevo planeta Urano parecía jugarles bromas pesadas, porque no seguía la órbita predicha por los cálculos, pero luego de un tiempo, como en 1790, volvía a comportarse de acuerdo con la mecánica newtoniana de acción a distancia inversa cuadrática. No duró mucho el gusto, pues de 1820 a 1830. Urano volvió a las andadas cambiando su órbita extrañamente. Surgieron entonces diferentes explicaciones; se decía que el planeta sufría la fricción de un supuesto flujo cósmico, que un satélite invisible lo había impactado, que había sido golpeado por un cometa el cual aparecería en breve en el firmamento, y lo peor: que la ley inverso cuadrática ya no se cumplía a distancias grandes. Se llegó a modificar la ley inversa cuadrática para tratar de adaptarla a los movimientos de Urano, pero sin éxito alguno. Laplace aplicando las teorías de Newton y



las observaciones telescópicas había propuesto una teoría sobre el origen del sistema solar, con ella quería explicar que el sistema solar debía ser estable y autorregulado, su suposición ayudaba a explicar el porqué todos los planetas hasta entonces conocidos, giraban alrededor del Sol en un mismo sentido, y casi en un mismo plano, él pensaba que el sistema solar se había formado de una nebulosa rotatoria, lo que coincidía con las teorías de Herschel respecto al origen de las estrellas, y le sirvió de base a Darwin en 1859, para teorizar respecto a la evolución. Todas estas discusiones y observaciones fueron estudiadas y comprendidas por Urbain Le Verrier que quedó influenciado por ellas, pero sobre todo por la propuesta en el sentido de que el sistema solar debía ser estable. Muy interesado en la perfección de la mecánica celeste y buscando esa estabilidad del sistema solar, Le Verrier se asomó al telescopio del observatorio de París en 1845, observando y calculando, pudo hacer la predicción de que Urano estaba siendo jalado por otro planeta exterior aún desconocido, y eso era lo que lo obligaba a no seguir una órbita planetaria normal e acuerdo a lo predicho. La noticia llegó pronto al astrónomo real de Greenwich George Airy, luego en Junio Le Verrier informó que el planeta desconocido estaba a una distancia tal que concordaba con la ley de Bode, y hasta indicó su posición aproximada, Airy, entonces director de Greenwich, no procedió a buscar el planeta por absurdas razones burocráticas, pues argumentó que la búsqueda de planetas desconocidos no era un asunto que mereciera el uso de los fondos públicos del observatorio real, a pesar de que también el joven John Couch Adams graduado de la prestigiosa Universidad de Cambridge también le había ofrecido pruebas de la posible existencia de un nuevo planeta que perturbaba a Urano, pruebas que había encontrado en una investigación propia muy independiente de la de Le Verrier. Por su parte, los astrónomos en el observatorio de Berlín, sí se decidieron a buscar el planeta, y lo hicieron de inmediato, el mismo día que comenzaron la búsqueda lo encontraron.



Era el 23 de septiembre de 1846, cuando los astrónomos en Berlín usaron el telescopio para traer hasta sus ojos la primera imagen de Neptuno. Se había descubierto el último de los planetas gigantes del sistema solar, el que a la postre sería el último de ellos después de que en 2006 se redefinieron las características de un planeta y Plutón dejó de serlo. Era también el triunfo final y definitivo de la mecánica newtoniana y un triunfo más del telescopio! El intelecto humano crecía en los cielos, una vez más de la mano del telescopio.

La tecnología y la instrumentación continuaron su avance y con el desarrollo de nuevos equipos, se fue mejorando la eficiencia del telescopio ayudando al mejor desarrollo de la ciencia, Así en los siglos siguientes los desarrollos llevaron a mejores observaciones y descubrimientos tales como el de estrellas binarias que al orbitar alrededor de su centro de masa confirman la ley de la Gravitación Universal, la observación y estudio de satélites alrededor de planetas como Saturno, los casquetes polares de Marte, y la gran mancha en Júpiter entre muchos otros. En 1675 Olaf Roemer observaba los satélites de Júpiter y notó que los tiempos de sus eclipses detrás del planeta se adelantaban o atrasaban según se observaban cuando Júpiter estaba acercándose o alejándose de la Tierra en sus órbitas relativas, dedujo, acertadamente, que eso se debía a la velocidad finita de la luz, e hizo el primer cálculo aproximado de lo que más tarde sería un parámetro importantísimo en la física: La Velocidad de la Luz en el vacío. Por esta razón tenemos que considerar que los telescopios en realidad apuntan al cielo con unas diferencias de unos cuantos segundos de arco de la posición real de los objetos celestes para compensar la enorme e increíble velocidad de 108,000 Kilómetros por hora de la traslación de la Tierra y la velocidad de la luz de los objetos observados, a esta corrección en el apuntado del telescopio se le llama “El Ángulo de Aberración” y fue utilizado por primera vez por Bradley en 1728 para determinar la velocidad de la luz, midiendo

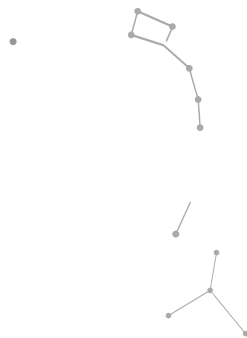


- el ángulo de aberración del telescopio. Por su parte Cassini en 1676 descubre una franja oscura en el anillo de Saturno que se conoce como la división de Cassini, además de dos lunas más del mismo planeta. El primer día del siglo 19, es decir el primero de enero de 1801, Giuseppe Piazzi observa a Ceres creyendo que era el planeta faltante entre Marte y Júpiter, pero en realidad es el primer asteroide entre muchos miles más a descubrir. El telescopio se apuntaba cada vez más y más éxitos en la conquista de la verdad.



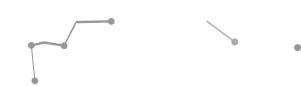


CA PÍ TU LO 5



TELESCOPIOS, INSTRUMENTOS Y DESCUBRIMIENTOS

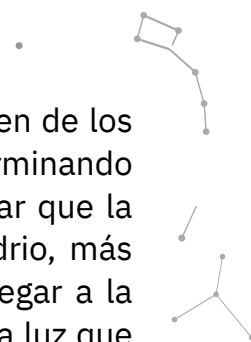
La función principal de un telescopio es la de coleccionar la mayor cantidad de la luz proveniente de un objeto lejano, con esa luz formar la imagen más precisa y adecuada del objeto y finalmente tener un sistema óptico que permita que un observador vea la imagen formada. La luz, es entonces el único elemento que el telescopio usa para lograr su objetivo, del manejo de la luz y de la precisión en el sistema mecánico del telescopio depende el desempeño del mismo. La luz que llega al telescopio trae toda la información con la que los astrónomos trabajan, del análisis y aprovechamiento de esta luz recogida por el telescopio se pueden investigar y conocer una gran cantidad de cosas. Por ejemplo: Saber la temperatura de una estrella, su composición química, la velocidad de una galaxia, el tamaño de un planeta y todo lo que sabemos del universo. Es obvio que nadie ha ido con un termómetro a medir la temperatura del Sol, ni a sentir la brutal fuerza de gravedad de un agujero negro, sin embargo, conocemos esos datos porque la información de los mismos ha llegado a nosotros a través de la luz recogida por un telescopio, y analizada de distintas maneras, y con distintos instrumentos, para arrancarle



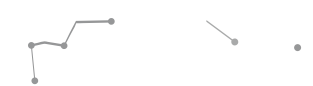
- la información que trae y usarla para conocer los hechos. La luz es entonces la materia prima de la ciencia astronómica y el telescopio el medio para traer la luz hasta nosotros los humanos curiosos e interesados en explorar los secretos del cosmos.



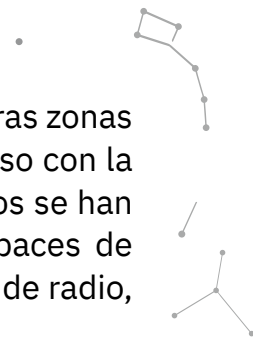
Comúnmente la mayoría de las personas cuando piensan en un telescopio, se imaginan cosas compuestas de tubos, lentes, espejos y tal vez de extrañas monturas con complicados sistemas mecánicos, todo esto dentro de un edificio oscuro con una cúpula, y por supuesto se imaginan a un astrónomo con el ojo pegado al ocular del gran aparato. Esta tradicional idea del telescopio en la imaginación de la gente, está atrasada cientos de años, los telescopios son ahora tan distintos y variados, que casi cualquier persona que viera un telescopio moderno de cualquier tipo, no podría reconocer de qué se trata, hay telescopios que parecen cualquier cosa menos un tradicional telescopio del siglo 16. Pero todos reciben, colectan y observan la luz, y muchos tipos de luces, actualmente detectan no sólo la luz visible a los ojos, sino todo tipo de luz, desde los rayos gamma, hasta las ondas de radio. Los telescopios clásicos han estado con nosotros mucho más tiempo y son los que recolectan la luz visible al ojo humano, son estos los que han formado la idea generalizada de la forma y función del instrumento, a estos telescopios clásicos les llamamos telescopios ópticos, con ellos se puede ver “la luz visible”. Parece raro esto de “ver la luz visible”, pero, en realidad debido a la limitada capacidad de nuestro sentido de la vista, existe en efecto, la luz invisible, sí, invisible para el ojo humano, pero no para el ojo mágico, no para el telescopio. Para entender todo esto debemos empezar por saber cuál es la luz visible. Desde hace ya mucho tiempo conocemos el hecho de que la luz blanca al pasar por un prisma se descompone en siete colores básicos, que son los mismos colores que presenta el arco iris, estos colores son: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo, y violeta. No importa que



tipo de prisma usemos o dónde veamos el arco iris, el orden de los colores siempre es el mismo, empezando con el rojo y terminando con el violeta. Para entender el porqué, tenemos que notar que la característica de un prisma es que es un triángulo de vidrio, más grueso en un lado y que se va haciendo delgado hasta llegar a la esquina donde sus caras finalmente se juntan. Siendo así la luz que pasa por el prisma se refracta o quiebra por diferentes caminos y en diferentes formas descomponiéndose en los colores del arco iris, podemos concluir entonces, que la luz blanca está compuesta de todos los colores del arco iris, para entenderlo, tenemos que pensar que la luz está compuesta de ondas de radiación que viajan todas a la misma velocidad de la luz de aproximadamente 300 mil kilómetros por segundo, aunque estrictamente esta es la velocidad nominativa de la luz en el vacío y la denotamos como “C”, en realidad la luz viaja un poco más lento porque no está en un vacío perfecto. Siendo la luz una onda, la distancia entre la cresta de una onda y la siguiente, se denomina longitud de onda y se usa la letra griega “ λ ” (lambda) para denotarla. Las luces de diferentes colores tienen longitudes de onda diferentes, cuando la luz blanca pasa por el prisma, la propia forma del prisma y el índice de refracción del vidrio del prisma, hacen que la luz se quiebre y salga con diferentes longitudes de onda, es decir de diferentes colores, y siempre salen en el mismo orden, del rojo al violeta, porque la forma del prisma va cambiando constantemente en una dirección, es decir se va haciendo más delgado, por lo tanto, el orden de los colores es el mismo puesto que la longitud de onda de la luz va cambiando continuamente y cada color tienen longitud de onda más grande que el anterior, o más pequeña que el siguiente, tal y como sucede en el arco iris después de la lluvia, donde las gotas de agua actúan como pequeños prismas contribuyendo todas y cada una a la refracción total de la luz para formar el hermoso arco iris.



La longitud de onda de la luz se mide en unidades de distancia, el metro sin embargo, es una unidad muy grande para medir las pequeñas longitudes de onda de la luz visible, así que se debe usar una unidad más adecuada llamada Angstrom en honor al físico sueco A.J. Ångström. La unidad se abrevia “Å”. Un Angstrom equivale a 0.00000001 centímetros, ó 10 elevado a la potencia menos 18 centímetros si se quiere usar la notación científica, queda claro que el ángstrom es una cantidad muy pequeña, pero es la adecuada para medir las longitudes de onda de la luz. Con base a esta unidad la longitud de onda de la luz violeta es de aproximadamente 4,000 Å, la luz amarilla tiene 6,000 Å, y la luz roja aproximadamente 6,500 Å. El ojo humano ya no es sensible a las radiaciones menores de 4000 Å ni a las mayores de 6,600 Å. Pero otros dispositivos sí pueden detectar luz de longitudes de onda mayores o menores, a las que llamamos infrarroja y ultravioleta respectivamente. Toda la radiación de cualquier longitud de onda tiene algo en común: es radiación electromagnética. Al rango de longitudes de onda sensibles al ojo le llamamos rango visible del espectro, y el espectro es el conjunto de todas las longitudes de onda, pero el espectro no se acaba ni en el infrarrojo ni en el ultravioleta, el espectro continúa a ambos lados del rango de lo visible, así, después del infrarrojo están las ondas de radio que pueden llegar a tener longitudes de onda de varios metros, mientras que después del ultravioleta siguen los rayos X y los rayos gamma cuyas longitudes de onda son muy pequeñas, del orden de un Angstrom. Para facilitar las cosas llamamos rayos X a las longitudes de onda de 1 a 100 Angstroms, rayos gamma a las de menos de 1 Angstrom, luego llamamos simplemente luz a las longitudes del orden de los 5,000 Angstroms. A las mayores de un centímetro les decimos ondas de radio. Con esto se ve claramente que la luz sólo ocupa una pequeñísima parte del espectro, electromagnético, llamada banda visible, o espectro visible, de manera que si con esa pequeña parte del espectro podemos conocer tantas cosas,



imaginemos lo que podríamos saber si observáramos en otras zonas del espectro, o en el resto de las longitudes de onda. Por eso con la habilidad y el ingenio de los astrónomos, físicos e ingenieros se han llevado a cabo esfuerzos para desarrollar telescopios capaces de detectar otras longitudes de onda, como las infrarrojas, las de radio, las X y hasta las gamma.

Siendo la longitud de onda la distancia entre una cresta de la onda a la cresta de la siguiente onda, tal y como sucede en las ondas en el agua o las olas del mar, se puede imaginar que las ondas son como las olas que suben a una cresta y bajan a un valle, como la luz se desplaza por medio de estas ondas a la velocidad “C”. En una cierta distancia caben más ondas si la longitud de onda es pequeña, que las que caben en esa misma distancia si la longitud de onda es grande, al número de ondas que caben en la distancia recorrida en un segundo, o dicho de otra forma, al número de ondas que pasan por un punto en un solo segundo, se le llama frecuencia, la frecuencia no es otra cosa que el inverso de la longitud de onda, en otras palabras la frecuencia es el número de ondas que se desplazan en un segundo, mientras que la longitud de onda es la distancia entre una onda y la siguiente. La frecuencia es por lo tanto, más grande entre menor sea la longitud de onda y viceversa.

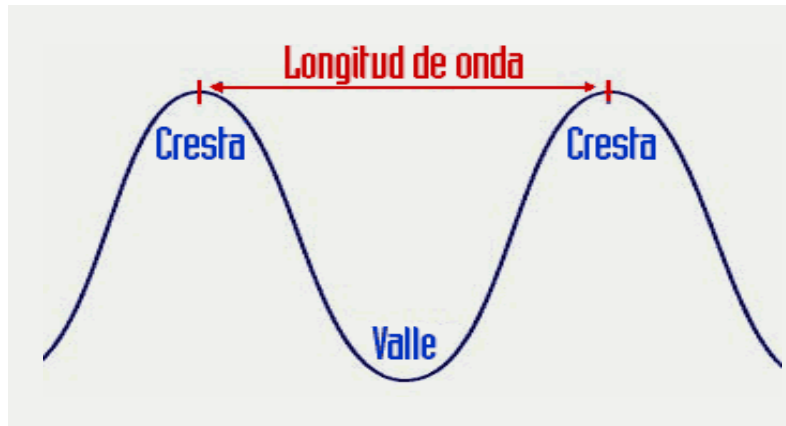
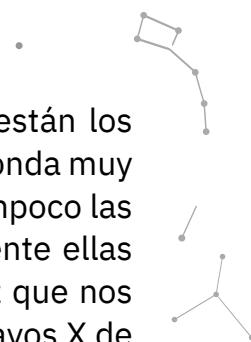


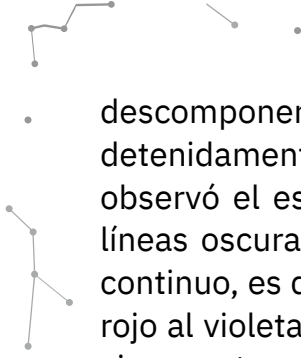
Fig. 26 Longitud de onda.

La frecuencia es una medida muy útil cuando trabajamos con ondas, podemos decir que cada color tiene una frecuencia que corresponde al inverso de su longitud de onda, y al conjunto de todos los colores que cada longitud de onda produce se llama espectro continuo o simplemente “continuo”, cuando hablamos de ondas de radio siempre nos referimos a la frecuencia, y así decimos que cierta estación de radio o televisión transmite a cierta frecuencia, las frecuencias no tienen unidades físicas como la longitud, la masa o el tiempo, pues se expresan sólo como un número que indica la cantidad de ondas o ciclos por segundo, medir la frecuencia implica por lo tanto contar los ciclos por cada segundo, es decir, cuantas veces la onda vibra en un segundo, los ciclos por segundo se denominan Hertz, abreviados Hz y sus múltiplos se llaman Kilohertz (KHz), Megahertz (MHz) etcétera. Las ondas electromagnéticas de las estaciones de radio o televisión se expresan así. Aunque son en esencia, iguales a las ondas de luz, dado que también son ondas electromagnéticas, claro que no las vemos, pero sí las detectamos cuando prendemos



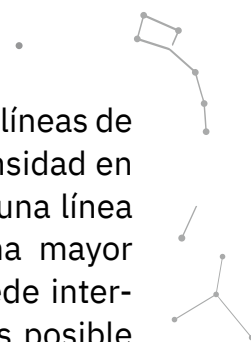
el radio o la televisión. Al otro lado del espectro, donde están los rayos X y los rayos gamma, estas son ondas de longitud de onda muy corta, o sea de alta frecuencia y de muy alta frecuencia, tampoco las podemos ver y de hecho nos hacen daño, pero curiosamente ellas sí nos pueden ver a nosotros, la prueba está que cada vez que nos sacamos una radiografía, nosotros no vemos la luz de los rayos X de alta frecuencia pero los rayos X atraviesan nuestros tejidos y sí ven los huesos que son más densos, éstas frecuencias nos hacen daño porque tienen mucha energía, ya que la energía que tienen depende de la frecuencia y la frecuencia es muy alta, es por eso que no nos podemos exponer demasiado a su “luz” o radiación pues acabaríamos quemados o con nuestras células dañadas por el cáncer. La luz proveniente del Sol es radiación que contiene todo el espectro, incluidos los letales rayos gamma y los ultravioleta, afortunadamente la atmósfera de la Tierra no permite el paso de las ondas de alta energía que acabarían por calcinar a todo ser viviente sobre la Tierra. ¿No basta este hecho para que cuidemos más nuestra atmósfera?

La historia de la espectroscopía se inicia con el hundimiento de una vieja casa en un barrio pobre de Munich. Entre las víctimas sepultadas por las ruinas, sobrevive un huérfano de catorce años, J. Fraunhofer (1787-1826), hijo de un vidriero. Por suerte, el rector de Baviera, José Maximiliano, presenció la catástrofe, y se conmovió tanto por el milagroso salvamento del adolescente, que le regaló una bolsa con 18 ducados de oro. Estos 18 ducados rindieron los mejores intereses a la ciencia pues permitieron que el entonces joven, aprendiz en una fábrica de espejos, comprara libros de física. Más tarde los mejores telescopios de la época salieron de manos de este gran maestro de la óptica. En 1804 Joseph Fraunhofer, quien no era propiamente un científico sino un óptico práctico estaba tratando de mejorar el diseño de las lentes, en uno de sus intentos por comprender y evitar la aberración cromática hizo pasar la luz del Sol por un gran prisma para



- descomponerla en un arco iris muy largo con la intención de estudiar detenidamente el continuo, y los cambios en el color. Pero cuando observó el espectro detenidamente, advirtió que había cientos de líneas oscuras en varios sitios del espectro visible que se suponía continuo, es decir, se esperaba que luz cambiara continuamente del rojo al violeta, según la longitud de onda de cada color, pero aparecieron estos espacios o líneas oscuras que representan zonas donde la intensidad de la luz o radiación disminuye o desaparece.

Esto sugiere que había longitudes de onda que no se veían o eran absorbidas de alguna forma entre la fuente emisora de la luz y el observador, por esa razón a estas líneas les llamó líneas de absorción, a las líneas prominentemente más oscuras las nombró con las letras del alfabeto A,B,C... comenzando desde el lado rojo hacia el violeta, hasta la fecha estas líneas conservan las letras que les asignó Fraunhofer y el espectro del sol se conoce como el espectro de Fraunhofer. Lo primero que era de pensarse era que algo entre el Sol y la Tierra absorbía esas longitudes de onda específicas, tal y como la atmósfera absorbe los dañinos rayos ultravioleta. Pero hubo que investigar mucho al respecto. Este fenómeno despertó mucho interés y en 1859 Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff anunciaron que las líneas de absorción en el espectro del Sol correspondían a elementos químicos individuales, ellos experimentaron haciendo pasar por prismas la luz emitida por chispas y luces producidas por metales y encontraron una correspondencia que confirmaba su propuesta, más aún con este método identificaron dos nuevos elementos; el cesio, cuyo nombre en latín significa azul grisáceo y el rubidio que significa rojo, los nombres evidentemente se les dieron por los colores que los identificaban en el espectro. Otros experimentos con luz pasando a través de gases fríos produjeron líneas de colores más brillantes que sus vecinas, es decir, al contrario de las líneas de absorción, estas nuevas líneas eran más intensas, y



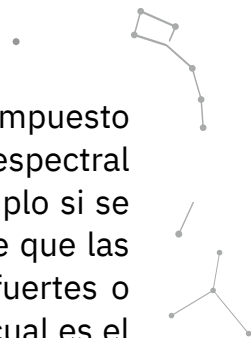
parecían emitir más luz que las demás por lo tanto les llamó líneas de emisión, y representan longitudes de onda con mayor intensidad en la emisión de su brillo, una mayor intensidad luminosa en una línea espectral específica, es necesariamente producto de una mayor energía en esa longitud de onda particular, por lo que puede interpretarse como una temperatura predominante, y de ahí es posible deducir la temperatura del cuerpo o elemento que emite en esa longitud de onda particular, lo que demuestra que es posible saber la temperatura de las estrellas observando sus líneas espectrales. Las líneas de emisión también representan a elementos químicos particulares y sirven para identificarlos. Ahora la receta es simple: La luz lejana proveniente de las estrellas se amplifica y se concentra con el telescopio, luego se descompone en sus colores y se le extrae la información. Las líneas de emisión también representan a elementos químicos particulares y sirven para identificarlos.

Mientras tanto en los laboratorios, descomponiendo la luz de elementos conocidos se descubrió que se observaba el mismo fenómeno pues había patrones específicos de líneas de absorción y de emisión de energía a longitudes de onda particulares, cuando los átomos de elementos químicos particulares en estado gaseoso emitían su luz. Es decir, si el átomo de un elemento químico gaseoso en particular se calentaba, emitía una luz que al descomponerse por un prisma, mostraba un conjunto particular de líneas de emisión, ese elemento químico en particular, y sólo ése, daba un patrón específico de líneas de emisión y cada distinto elemento químico en forma gaseosa tenía su propio patrón distintivo de líneas de emisión, era como si cada elemento enviara su cartilla de identidad inmersa en su luz. Por otra parte si un espectro continuo de luz proveniente de una fuente de energía a alta temperatura, se hacía pasar por vapor frío de algún elemento químico, en su espectro aparecía un conjunto de líneas de absorción con la característica correspondencia entre cada

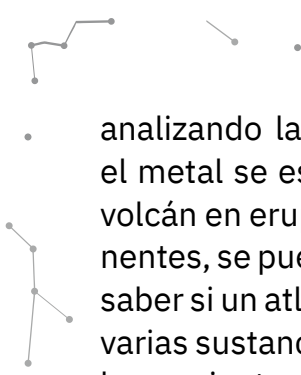


patrón de líneas de absorción y cada elemento químico. Nuevamente parecía que los átomos de cada elemento en particular absorbían una cierta longitud de onda de la luz del continuo para dejar su identidad muy clara en cada conjunto de líneas de absorción. Más aún si la luz del espectro continuo se hace pasar primero por el vapor frío de un elemento, y luego por el vapor frío de otro elemento, el patrón de líneas de absorción obtenido es la combinación de los patrones de cada uno de los elementos, y lo mismo sucede si la luz del continuo se hace pasar por una mezcla de dos elementos, a estos patrones se les llama espectros de absorción en el caso de ser obtenidos por luz de espectro continuo pasando por gases o compuestos fríos, y espectros de emisión si son los gases o compuestos calientes los que producen la luz. Este hallazgo fue de vital importancia para la investigación astronómica.

La luz procedente de elementos y compuestos químicos, trae consigo la información de su origen, lo que resulta muy conveniente para la astronomía, ya que con el estudio de la luz procedente de los astros se pueden averiguar muchas cosas inherentes a ellos y al medio en el que se encuentran, los experimentos en la Tierra demostraron que no sólo los compuestos o los elementos químicos envían con su luz la información que los identifica, sino que también las moléculas presentan patrones característicos de líneas de absorción que las identifican específicamente. Observando los patrones de las líneas en los espectros de las estrellas se pudo concluir que los mismos elementos existentes en la Tierra estaban presentes en los cuerpos celestes, esta conclusión pudiera parecer sin importancia pero nunca, antes del descubrimiento del espectro, se pensó que fuera ni remotamente posible obtener esta información de los astros tan lejanos. Las buenas noticias no pararon ahí, más tarde se descubrió que algunas de las líneas de emisión eran mucho más fuertes y brillantes, se estudió este efecto para encontrar la razón que lo



provocaba y se logró descubrir que si se trataba de un compuesto químico, las líneas más brillantes corresponden al patrón espectral del elemento más abundante en ese compuesto, por ejemplo si se toma el espectro de un compuesto rico en hidrógeno se ve que las líneas espectrales que identifican al hidrógeno son más fuertes o brillantes que las demás, de esta manera se puede saber cual es el elemento más abundante, pero no sólo eso también se descubrió que la relativa mayor intensidad de las líneas espectrales no sólo acusa la abundancia de algún elemento en un compuesto, sino que también es un reflejo de la temperatura del compuesto o del elemento que se estudia espectralmente. Es decir las líneas más brillantes de un espectro nos permiten saber la temperatura del mismo, todos los experimentos en el laboratorio permitían comprobar la veracidad de este hecho, en el laboratorio se tomaban miles de espectros de elementos y compuestos conocidos, luego se comparaban con los espectros obtenidos de la luz proveniente de las estrellas recibida con el telescopio. De esta forma se comprobó que la propia luz de un compuesto o de una estrella, trae la información de su temperatura, su composición química y la abundancia de sus elementos. Ya no era necesario que nadie fuera a una estrella con un termómetro o un laboratorio de química para averiguar sus características, bastaba con usar este maravilloso descubrimiento y un telescopio con el que se podía traer la luz de las estrellas; descomponerla al pasar por un prisma, ver las líneas de absorción y emisión de esa estrella lejana, compararlas con los patrones conocidos y ¡Saber no sólo su temperatura sino que clase de átomos y compuestos están presentes en esa estrella a millones de años luz de la Tierra! El método de análisis espectral se convirtió en una herramienta tan poderosa que se usa para explorar todo el universo y obtener información de estrellas, planetas y otros objetos, más adelante se le encontró mucha más y sorprendente utilidad no sólo en la astronomía, sino aquí mismo en la tierra; en metalurgia se puede saber la composición de una aleación



analizando la luz que producen las chispas de la aleación cuando el metal se esmerila, se puede analizar desde lejos la lava la de un volcán en erupción para saber su temperatura y conocer sus componentes, se pueden conocer los compuestos en la sangre humana para saber si un atleta se ha dopado, o identificar compuestos químicos en varias sustancias. El análisis espectral se convirtió rápidamente en la herramienta más poderosa de la astronomía y elevó enormemente el potencial del ojo mágico del telescopio. El telescopio mismo ayudó a descubrir esta y muchas maravillas más. Un prisma descompone la luz en los colores del arco iris para formar el espectro por el efecto de la refracción, en el caso de la aberración cromática este efecto es indeseable, mientras que para formar espectros resulta ser efecto muy conveniente. Cuando un rayo de luz llega directamente a un prisma las líneas espectrales que aparecen se confunden, porque los espectros son producto de una descomposición de su luz y en consecuencia las imágenes de los espectros son más alargadas que las imágenes formadas por la luz sin descomponerse en colores, tienen que serlo porque ahora despliegan todos los colores de su luz en un espacio más largo, y como consecuencia las imágenes de los espectros de unas estrellas se llegan a traslapar con las de otras y se confunden entre sí. Para evitarlo se usan unas rendijas estrechas que sólo permiten pasar la luz de los objetos en el plano de la rendija y que son los que se desean estudiar. Entonces las líneas espectrales se forman claramente separadas y mejor definidas en el plano focal del telescopio, que es donde se forman las imágenes estas rendijas son como filtros para observar un espectro a la vez, y son por lo tanto, muy necesarias para separar los espectros y verlos independientemente con mejor calidad. Se fabrican rendijas de distintas dimensiones y precisiones que se acoplan a los planos focales de los telescopios, el acoplamiento del prisma que descompone la luz y la rendija misma ya se considera como un espectrógrafo en sí mismo.

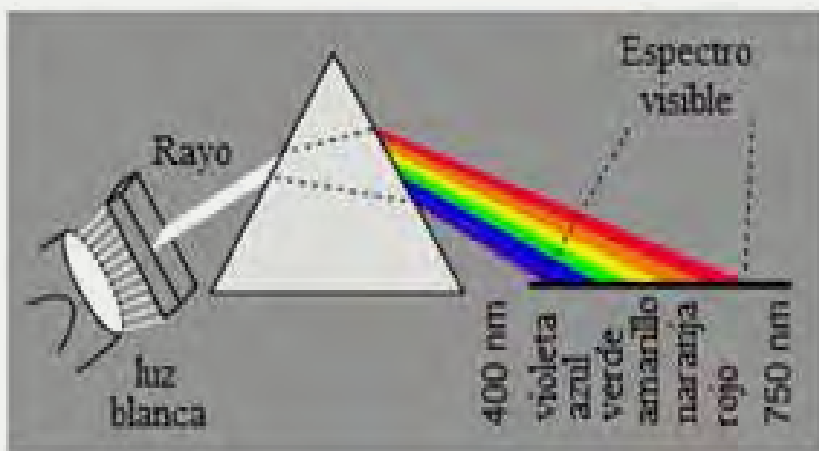
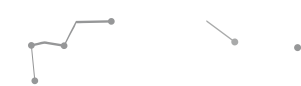


Fig. 27 Descomposición de la luz con un prisma.

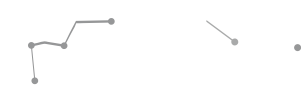
No sólo los prismas son capaces de descomponer la luz en su espectro también las rejillas de difracción lo hacen pero de una manera diferente, una rejilla de difracción usa precisamente el fenómeno de difracción para descomponer la luz, mientras que la descomposición de la luz por refracción en el caso del prisma se puede explicar con la teoría corpuscular y también con la teoría ondulatoria de la luz, la difracción sólo tiene explicación por la teoría ondulatoria. El fenómeno de la difracción consiste en que la luz, o cualquier otra onda electromagnética, pasa por una rejilla que ha sido rallada muy finamente para formar aberturas muy, pero muy cercanas unas de las otras, las distancias entre las rayas son del orden de magnitud de las longitudes de onda de la luz, de tal manera que la ondas de luz, al pasar por las aberturas de ese tamaño tan angosto se doblan, y como cada frente de onda pasa por aberturas separadas por muy, muy poco, cada doblez es ligeramente diferente en cada una de ellas, de acuerdo con el ángulo con el que la luz incide sobre la rejilla de difracción y en consecuencia. Se produce la descomposición de la luz en sus colores lo que forma el espectro. Este es el tipo de sistemas que se usa en la mayoría de los telescopios modernos, porque las rejillas de difracción son delgadas y ligeras. El aparato que permite



- descomponer la luz y producir espectros se llama espectroscopio, espectrómetro o espectrógrafo dependiendo del uso que se le de. Los espectroscopios producen hermosos espectros que se pueden observar con los ojos o algún otro sistema óptico que los espectrómetros se usan para medir las longitudes de onda y la intensidad de las líneas espectrales, generalmente se usa una foto celda para lograr mediciones precisas, la foto celda está basada en el principio de que algunos materiales liberan un electrón cuando reciben un fotón de luz, el electrón liberado en un campo eléctrico fluye y produce una corriente eléctrica, que puede ser medida y caracterizada para saber cuando y cuantos electrones llegan a la fotocelda, otro dispositivo mejor es el foto multiplicador que produce varios electrones por cada electrón que la fotocelda libera con lo que la sensibilidad del aparato aumenta notablemente hay otros sistemas electrónicos modernos que detectan los fotones con mucha precisión. La ventaja de los fotómetros y de los foto multiplicadores es que son lineales, es decir la corriente eléctrica es proporcional al número de fotones que detecta hasta un cierto límite del instrumento, a diferencia de las placas fotográficas que aunque reciban muchos fotones ya no afectan a la emulsión de la placa fotográfica cuando esta ya ha sido saturada, la desventaja de los fotómetros y foto multiplicadores es que sólo miden la intensidad de la luz pero no producen imágenes como lo hacen las placas fotográficas. Por su parte los espectrógrafos sirven para crear imágenes de los espectros con el fin de fotografiarlas, y registrarlas en sistemas o archivos electrónicos digitalizados que serán estudiadas con detalle al microscopio. El ojo humano puede observar las imágenes de un telescopio y maravillarse con ellas pero no registra ni guarda la información, Galileo dibujaba lo que veía por que no había fotografías, pero en cuanto se desarrolló la fotografía, las placas fotográficas se convirtieron en el primer instrumento para registrar las imágenes obtenidas por el telescopio, para estudiarlas cuidadosamente.

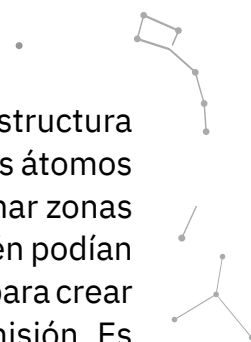
Un espectroscopio consiste básicamente en un instrumento que se acopla al telescopio para que reciba la imagen, descomponga su luz y una vez desplegado el espectro se pueda analizar, consta de una rendija angosta que se puede abrir más o menos para dejar pasar la luz del objeto que se va a estudiar, la rendija además genera un haz de luz delgado y plano, luego, un sistema óptico de lentes colima el haz para llevarlo al prisma o a la rejilla de difracción donde la luz se descompone en sus colores se despliega el espectro, finalmente otro sistema óptico enfoca el espectro en un segundo plano focal donde el espectro con toda su información se puede observar o fotografiar para su estudio, generalmente luego de obtener un espectro, este se estudia y se observa cuidadosamente y a detalle con un microscopio, o con complicados instrumentos electrónicos para detectar las más mínimas variaciones, y así poder descubrir los accidentes del espectro que traen la información del objeto observado. El espectro de la luz obtenida por un telescopio es hasta la fecha la varita mágica que permite descifrar la mayoría de los secretos del cosmos, la espectroscopia se convirtió en la herramienta más poderosa en el estudio de la astronomía y de la luz en general, la tecnología desarrollada para hacer espectroscopios involucra a la óptica, la mecánica la electrónica, la química, la computación y muchas otras disciplinas, que se desarrollan paralelamente con la astronomía y el propio telescopio. Gracias al magnífico descubrimiento de la espectroscopia el telescopio se engrandece, se convierte en ojo mágico todavía más poderoso porque tiene la capacidad de analizar lo observado y arrancar una mayor información de los objetos observados, no sólo en los cielos sino también en los laboratorios de la tierra.

Una aseveración muy poco afortunada fue la del filósofo Auguste Comte quien en 1844 consideraba que siempre habría algún conocimiento imposible de descubrir por ser humano, y tuvo la mala fortuna de poner como ejemplo la composición química de las

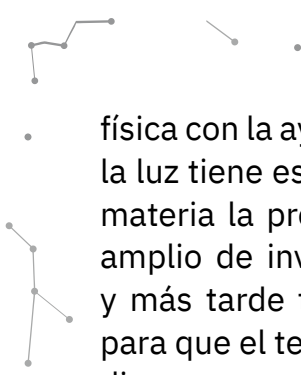


estrellas, cuando afirmó que nunca sería posible conocer la naturaleza de las estrellas ni su composición dado que están tan lejanas que jamás sería posible obtener una muestra de ellas y por lo tanto nos veríamos imposibilitados de conocer su composición. Pero a sólo tres años de su muerte se descubrió que el espectro podía ser usado para determinar la composición del objeto que emite la luz que lo provoca. El hecho de que la descomposición de la luz y el espectro que esta produce traigan consigo a través del telescopio tanta información desde tan lejos, y que esta información pueda ser arrancada de la propia luz para su estudio, parecería ser un regalo divino para el hombre, experimentalmente se comprobaba una y otra vez la veracidad y precisión del método espectroscópico para analizar los átomos y los compuestos, tanto en laboratorios de la tierra como con la luz proveniente de las estrellas, el porqué la naturaleza misma de la luz premiaba los esfuerzos de la humanidad por conocer el universo con la maravillosa información escondida en los espectros luminosos producidos por los átomos y compuestos era algo que no se sabía, la explicación tuvo que buscarse por mucho tiempo y por muchos físicos, y fue necesario esperar hasta que se logró comprender la razón por la que la luz y el espectro eran capaces de traer la tan preciada información consigo. Comprender semejante bondad de la naturaleza, requirió del desarrollo de la física cuántica, sin embargo aún sin conocer la razón por la que la luz traía la información fue posible aprovecharla mucho.

Lo primero que se hizo para comprender la razón de la presencia de las líneas de absorción y emisión en los espectros fue revisar las teorías de la luz. y tratar de establecer su interacción con la materia, lo que por entonces no se entendía del todo, era necesario saber la estructura del átomo para así poder imaginar cómo la luz interactuaba con los átomos, y cómo lograba arrancarles la información de su composición para luego transportarla millones de kilómetros,

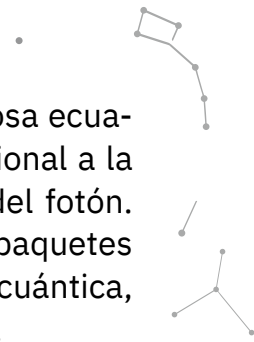


hasta nuestros espectroscopios, alguna relación entre la estructura del átomo y energía luminosa debía ser la razón por la que los átomos podían absorber ciertas longitudes de onda de la luz, y formar zonas oscuras en el espectro de absorción, pero los átomos también podían ceder energía en forma de luz de ciertas longitudes de onda para crear líneas más brillantes, como sucede en los espectros de emisión. Es importante entonces tratar de comprender la estructura de la luz, lo que no es nada fácil, a veces consideramos a la luz como un chorro de partículas luminosas que viajan en línea recta y por eso podemos suponer que existen rayos de luz viajando en línea recta que nos explican muy bien su comportamiento, pero en otras ocasiones es necesario considerar que la luz es una onda, para explicar otro tipo de fenómenos como la descomposición de la luz en los espectro. ¿Cómo es que la luz puede comportarse de dos maneras distintas? Sucede que la luz es un fenómeno muy complejo y tiene que ser descrita de maneras diferentes, ya sea como onda o como partícula, lo que no es muy congruente con nuestra intuición y experiencia diaria, pero tenemos que entender que lo que estamos tratando de comprender, no es parte de nuestra experiencia cotidiana, pues estamos estudiando y analizando algo que nunca hemos visto, como lo es un átomo, estamos tratando de comprender y estudiar algo que no podemos ver y de lo que sólo podemos imaginar o construir modelos que concuerden con los efectos que producen y que sí podemos ver, en otras palabras, tenemos que mantener una mente abierta para crear modelos que expliquen los fenómenos que podemos ver pero que son causados por fenómenos que no podemos ver, y por eso es perfectamente válido considerar la dualidad onda partícula de la luz, para los fines que nos permitan explicar los fenómenos observados en nuestra experiencia cotidiana. Existen modelos matemáticos complejos que dan mejor idea de esta dualidad a las personas entrenadas en ese campo, pero son modelos abstractos que no dicen nada a quien no conoce la matemática implicada en la explicación. La



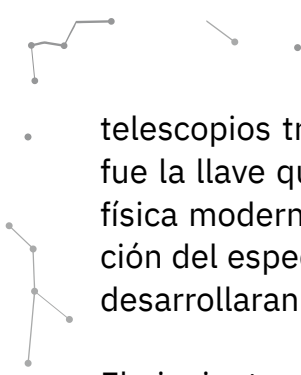
- física con la ayuda de la matemática también nos enseña que no sólo la luz tiene esta dualidad entre onda y partícula sino que también la materia la presenta, por lo que los teóricos tienen un campo muy amplio de investigación. Lo importante fue que el espectro visual y más tarde todo el espectro electromagnético abrieron la puerta para que el telescopio, la astronomía, la física y la ciencia en general dieran un enorme paso en la búsqueda de la verdad.

El primer paso para encontrar una explicación a los fenómenos espectrales lo dio Max Planck en los últimos días de 1899, prácticamente un año antes del final del siglo 19, pues vale la pena aclarar que el siglo 20 empezó el primer día del año 1901 y no en 1900, tal y como el siglo 21 empezó el primer día del año 2001 y no en el año 2000, como se suele creerse cada cambio de siglo. Max Planck entonces sabía que durante la década de 1890, los físicos observaban que un cuerpo a temperatura alta emitía la mayor parte de su radiación a baja frecuencia, mientras que estando a temperatura más alta, emitía proporcionalmente más radiación en frecuencias más altas. La teoría clásica, predecía unas formas de emitir radicalmente diferentes de las observadas. Planck diseñó una fórmula matemática que describía las emisiones reales con exactitud; después dedujo una hipótesis física que explicaba la fórmula. Su hipótesis fue que la energía sólo es radiada en cuantos cuya energía es proporcional a la frecuencia y relativa a una constante, ahora conocida como la constante de Planck. Mostró también que la luz siempre se emitía o se absorbía en paquetes de tamaño definido llamados fotones y que la energía de cada partícula de luz o fotón era proporcional a la frecuencia de la luz, era la primera vez que se relacionaba una partícula, el fotón, con una frecuencia, es decir el concepto de partícula se relacionaba con el concepto de frecuencia el cual es intrínsecamente un concepto relacionado con una onda.



En otras palabras tal como lo estableció Planck en su famosa ecuación: la energía de una partícula llamada fotón es proporcional a la frecuencia de la onda correspondiente al color de la luz del fotón. Pero además por primera vez se manejaba el concepto de paquetes de energía, lo que a la larga llevó al desarrollo de la física cuántica, que precisamente trata con cuantos o paquetes de energía.

Más tarde, en 1905 el entonces joven Einstein usó este concepto para explicar el llamado efecto fotoeléctrico; que consiste en que una cierta longitud de onda o frecuencia de la luz es capaz de arrancar electrones de materiales como el cesio, pero no importa que la luz sea muy fuerte en intensidad, si no es de la frecuencia adecuada no desprenderá ni un sólo electrón, en cambio un rayo de luz aunque sea débil si es de la frecuencia adecuada arrancará electrones a la materia, este afortunado descubrimiento se usa en la actualidad para generar energía eléctrica a partir de la luz solar y puede ser que acabe por salvar al mundo de una crisis energética o del temido calentamiento global provocado por la contaminación, si somos capaces usarla para sustituir al petróleo al generar suficiente energía limpia e inagotable para nuestras necesidades. Einstein razonó que si la energía del fotón dependía de la frecuencia entonces ningún electrón podía ser desprendido de su átomo a menos que tuviera la energía suficiente para hacerlo, y dado que la energía es dependiente de la frecuencia, entonces sólo el fotón de la frecuencia adecuada puede desprender al electrón adecuado. Y un solo fotón es capaz de desprender un electrón si está a la frecuencia correcta mientras que no importa cuantos electrones de otra frecuencia incidan sobre los átomos si no son de la frecuencia adecuada no logran arrancar ni un solo electrón. Pero un asunto muy importante fue que por primera vez en la historia de la física se relacionaban estrechamente los conceptos de materia energía y luz y estructuras atómicas, indudablemente se abría la puerta de la física moderna, y la luz que los

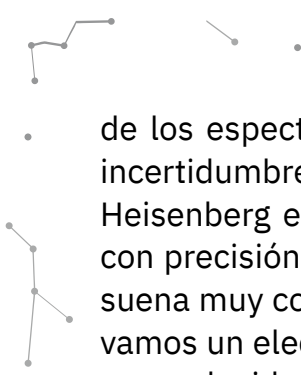


- telescopios traían desde tan lejos y concentraban en los espectros fue la llave que abrió el camino a lo que sería la fascinación que la física moderna regalaría al hombre del siglo XX. Aunque la explicación del espectro todavía tendría que esperar un poco más a que se desarrollaran los modelos del átomo y la física cuántica formalmente.

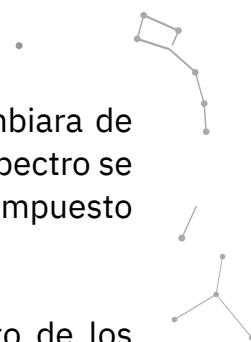
El siguiente paso para la explicación del espectro tenía que ser la comprensión de la estructura atómica, el primer modelo que comenzó a explicar el átomo en una forma moderna fue el modelo desarrollado En 1911 por Ernest Rutherford físico neozelandés que trabajaba en Manchester y que estableció la existencia del núcleo atómico a partir de experimentos consistentes en bombardear materiales como delgadas láminas de oro con partículas que se dispersaban de manera particular por los átomos del oro, supuso que cada átomo estaba formado por un núcleo denso y con carga positiva, rodeado por electrones cargados negativamente que giran en torno al núcleo, como los planetas alrededor del Sol. Sin embargo lo observado no coincidía con la teoría electromagnética clásica desarrollada por el físico británico James Clerk Maxwell que predecía que un electrón girando en torno a un núcleo emitiría continuamente energía electromagnética hasta perderla toda, y acabaría cayendo en el núcleo. Por tanto, según la teoría clásica, el átomo descrito por Rutherford sería inestable. El físico danés Niels Bohr salió en defensa de los resultados de Rutherford al postular, en 1913, que la teoría clásica no era válida en el interior del átomo, que los electrones se desplazan sólo entre órbitas definidas fijas que corresponden a niveles de energía y no pueden estar en cualquier lugar sino sólo en esas órbitas específicas, es decir en órbitas cuánticas y que sólo durante cada cambio de órbita de un electrón dentro del átomo habría una correspondiente absorción o emisión de un cuanto de radiación, dependiendo si el electrón saltaba de una órbita de mayor energía a otra de menor energía o viceversa. Ahora los físicos ya se atrevían a decir

abiertamente que aquello en lo que habían creído siempre como las teorías clásicas “no eran ciertas”, y que en las profundidades de los átomos, algunas cosas eran muy diferentes a lo que la experiencia cotidiana enseñaba.

El descubrimiento que Bohr ofreció fue un paso muy importante, pues con él se logró entender porque el espectro mostraba una línea de absorción o emisión cada vez que un electrón de un átomo pasaba de una órbita a otra y correspondía a la energía que el electrón absorbía o emitía al cambiar de órbita esto fue éxito grandioso para la comprensión del comportamiento de los espectros de emisión y absorción, el modelo funcionaba muy bien para el átomo de hidrógeno, que es el más sencillo de la naturaleza, pues sólo consiste de un protón actuando como núcleo y un electrón en la órbita básica. Para que este único electrón del hidrógeno pase a las órbitas superiores requiere absorber energía de la luz que lo impacta y entonces deja una línea oscura en el espectro, que corresponde exactamente a la energía que absorbió, cuando por otra parte, regresa a la órbita básica donde estaba, tiene que devolver la energía que le sobra y lo hace emitiendo un fotón cuya frecuencia corresponde a la energía que devuelve, entonces recordando que a cada color o frecuencia le corresponde un valor de la energía definida por la ecuación de Planck, ese pequeño fotón emitido es el causante de una línea de emisión en el espectro, línea que está exactamente en la frecuencia, o si se quiere en el color, correspondiente al valor de la energía que el electrón cedió al caer de regreso a la órbita original de menor energía, El modelo del átomo de Bohr resultaba muy bueno para explicar el comportamiento del hidrógeno y sus relaciones energéticas cuánticas, pero todo se complicaba mucho cuando este modelo aplicaba al resto de los átomos con más de un electrón, y resultó difícil explicar este hecho. Fue necesario esperar hasta que la teoría cuántica se desarrollara para entender mejor el proceso de formación



de los espectros. Lo que sucedió con la aparición del Principio de incertidumbre de Heisenberg postulado por el físico alemán Werner Heisenberg en 1927 el principio explica que no se puede conocer con precisión la posición y el momento lineal de una partícula, esto suena muy complicado pero básicamente quiere decir que si observamos un electrón de un átomo nunca podremos definir su posición y su velocidad al mismo tiempo. Si recordamos la controversia que se suscitó cuando las ecuaciones de la mecánica clásica de Newton entreabrieron la posibilidad de predecir el futuro y conocer el pasado de cada partícula, y por ende en teoría, de conocer el pasado y el futuro de todo el universo, y la polémica que esto provocó en cuanto al sagrado libre albedrío que Dios le había otorgado al hombre, con el principio de incertidumbre todo mundo podía ahora estar tranquilo, ya este principio establece que no se puede conocer simultáneamente la posición y la velocidad de ninguna partícula y en consecuencia no se puede predecir su futuro ni conocer el pasado, el libre albedrío del hombre estaba a salvo gracias a la física moderna. Un problema filosófico que esta condición de incertidumbre provocaba era que derribaba la idea tradicional de causa y efecto, sin embargo muchos científicos consideraban que la incertidumbre asociada a la observación no contradecía la existencia de leyes que gobiernan el comportamiento de las partículas, ni la capacidad de los científicos para descubrir tales leyes. A partir de ese momento la posición de un electrón en el átomo se convirtió sólo en una probabilidad, es decir, se hablaba de que un electrón, o cualquier otra partícula atómica, tenía una cierta probabilidad de estar en un sitio, y esa probabilidad se podía calcular, mas no representaba una certeza absoluta, sólo una mayor o menor probabilidad de que la partícula estuviera en un cierto lugar. A causa de esta incertidumbre se podía entender el porqué el modelo de Bohr fallaba cuando se trabajaba con átomos de más de un electrón, y ya se sabía que las líneas de emisión y absorción en los espectros eran el causadas por los cambios de posición,



más bien dicho de la probabilidad de que el electrón cambiara de entre los niveles de energía atómicos y esto hacía que el espectro se pudiera comportar como la huella digital de cada átomo, compuesto o elemento.

Esto explica parcialmente la causa del espectro del resto de los átomos y compuestos. Pero no sólo eso, además está la consideración de la dualidad onda partícula de la luz, cada vez más y más experimentos llevaban a la conclusión de que la luz se comportaba como una onda y/o como una partícula por lo que lo que apareció el famoso aforismo que dice que la luz viaja como onda pero los fotones llegan como partículas, además los experimentos en este sentido llevaron al los físicos a introducir los números cuánticos que describen mejor los estados atómicos y aplican reglas de selección que rigen las transiciones entre estados energéticos de los átomos y en consecuencia entre las líneas de emisión y absorción de los espectros.

En la física clásica las ondas y partículas son cosas muy distintas, el sentido común y la observación cotidiana así lo confirman, por ejemplo; las olas en la playa que viajan en direcciones distintas se enciman y pueden superponerse unas sobre otras sin alterarse, las ondas en el agua producidas en dos partes distintas pero cercanas se cruzan y pueden sumarse o restarse, si en un punto coinciden la cresta de una onda con el valle de otra, el resultado es que se anulan.

Las ondas que vienen por el canal estrecho hacia una laguna se abren en abanico al salir a la laguna y pueden rodear obstáculos o deformarse al llegar a una pared. Este fenómeno se llama difracción. Las partículas materiales por otra parte tienen un comportamiento muy diferente, por ejemplo las bolas de billar no se pueden superponer ni pasar unas a través de otras como lo hacen las ondas, las canicas, se suman, pero no se pueden anular como las ondas. Es decir nunca

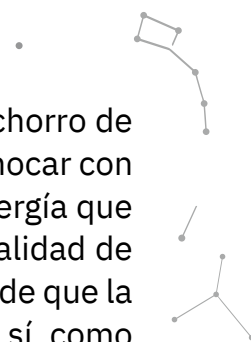


- sucede que al añadir canicas se obtenga cero canicas, cuando las partículas chocan encuentran, rebotan y se desvían, pero nunca rodean un obstáculo ni se deforman como las ondas al difractarse, en el mundo cotidiano las ondas y las partículas no se parecen en nada.



Sin embargo, los experimentos con luz demuestran que la luz se comporta como onda en ciertas circunstancias y como partícula en otras. En ese momento nació la física moderna. En 1924 Louis de Broglie, un físico que apenas hacía su tesis doctoral, hizo una interesante propuesta al sugerir que si las ondas podían comportarse como partículas, las partículas también podían comportarse como ondas. Para comprobarlo propuso usar un chorro de electrones, que son partículas, y ver si podían superponerse y difractarse como las ondas, el experimento que de Broglie propuso usaba un chorro de electrones en vez de ondas pasando por dos agujeros separados y sobre una pantalla se obtuvo un patrón característico de la difracción. Mostrando que los electrones, siendo partículas, se pueden difractar como lo hacen las ondas, entonces aunque en el mundo microscópico cotidiano, las ondas y las partículas no se parecen, en el mundo microscópico de la física moderna un conjunto de partículas, tal como el chorro de electrones, que de Broglie lanzó a una velocidad determinada, tenía todas las propiedades de una onda, pues se difractaba se reflejaba y se refractaba tal como lo hace la luz.

Por otro lado en un rayo de luz cada fotón en movimiento lleva asociado a él una onda, de manera que la dualidad onda partícula establece que una partícula con masa, moviéndose a una cierta velocidad se comporta, bajo condiciones experimentales, como una onda con una cierta longitud de onda y hay una relación matemática entre la velocidad, la masa y la longitud de onda de esta onda-partícula, relación que fue establecida por de Broglie en 1924. Asimismo la



luz en determinadas circunstancias se comporta como un chorro de fotones, o sea partículas, con una cierta velocidad, que al chocar con una superficie de metal desprenden electrones con una energía que sólo depende de la frecuencia de la luz, confirmando la dualidad de la luz, pero además este efecto es la primera manifestación de que la materia y la energía están intrínsecamente asociadas entre sí, como lo demostró Einstein con su famosísima ecuación. Más aún, los electrones excitados por la luz al regresar a su estado básico emiten un fotón cuya frecuencia, o si se quiere cuyo color, está relacionado con la propia composición del átomo excitado. Esta maravilla de la naturaleza es la que nos permite conocer la composición de la materia a través del espectro. El telescopio y su maravillosa capacidad de ver más allá, aunado al ingenio humano nos regalan la huella digital de los elementos y compuestos, y nos abren un universo nuevo de conocimiento, ahora el maravilloso telescopio no sólo es un instrumento de observación y de descubrimiento, sino un detonador de nuevas investigaciones, nuevos conocimientos, y nos ha llevado por un camino que va desde el maravilloso mundo de lo más grande, como las estrellas, hasta el mundo de lo más pequeño como lo son los átomos. Y las partículas que lo componen.

Una idea central importantísima de la mecánica cuántica es que ondas y partículas no son conceptos opuestos, sino las dos caras de una realidad más compleja. ¿Cómo puede algo ser a la vez onda y partícula? Nadie sabe por qué ocurre, solamente sabemos que los experimentos nos demuestran que es así como ocurre. Todo esto parece difícil de entender, y en efecto, se requieren muchos años de estudio para entenderlo, aún los físicos se esfuerzan mucho para entenderlo bien. La naturaleza cuántica de la materia y la energía es algo muy extraño. Pero muchas cosas que hoy son cotidianas para nosotros también fueron inexplicables en otro tiempo, por ejemplo a un antiguo romano le hubiera parecido imposible de entender



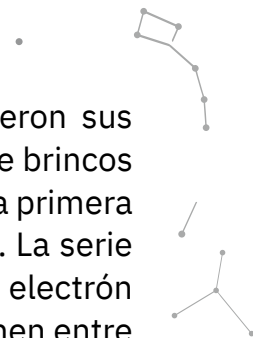
- algunas cosas actuales como los teléfonos celulares, los aviones, las calculadoras, el propio telescopio y hasta un simple fósforo.



La luz es entonces, simultánea o alternativamente, una onda y una partícula, algunos de sus fenómenos sólo se explican dentro del contexto de onda mientras que otro dentro del contexto de partícula y otros más en ambos contextos. El descubrimiento del efecto fotoeléctrico necesitó de la introducción del concepto de cuantos de luz llamados fotones. Los dos conceptos son irremediablemente inseparables, por eso se tiene que hablar de la dualidad onda partícula, lo que dio origen a la mecánica cuántica. Tal vez pronto el telescopio nos revelará la razón de semejante enigma.

El enorme beneficio que la naturaleza nos regala al mostrarnos tanta información contenida en los espectros requería de un enorme esfuerzo para comprenderlo, pero valió la pena y los frutos fueron grandiosos. Cada vez que admiramos la belleza de un arco iris después de la lluvia en una tarde de verano, estamos admirando no sólo esa belleza que su imagen presenta, sino también estamos intrínsecamente observando los secretos más profundos de la materia y la energía revelándose ante nuestro entendimiento.

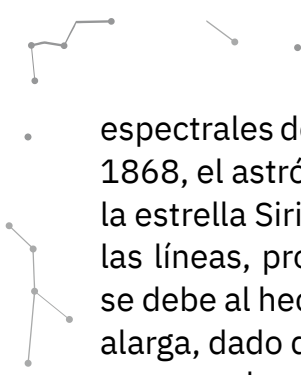
Una vez que se obtuvieron los espectros, el siguiente paso fue analizarlos cuidadosamente. Comenzando con los espectros producidos por el hidrógeno, que es el elemento más sencillo de la naturaleza, para así tener una idea básica de la forma en que este elemento sencillo produce sus espectros y revela sus secretos. Bajo el análisis del espectro del hidrógeno se descubrieron una serie de líneas espectrales que se volvieron muy famosas, y que son conocidas como las series de Lyman y de Balmer, los diferentes saltos entre las diferentes órbitas del electrón en el átomo de hidrógeno forman diferentes conjuntos o series de líneas de emisión y absorción y se



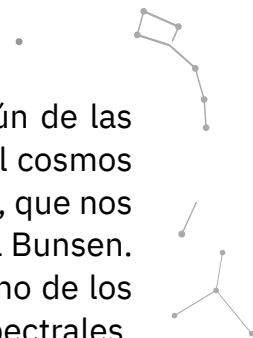
estudiaron al detalle, por diferentes personas que les dieron sus nombres así por ejemplo la serie de Lyman es el conjunto de brincos orbitales que el electrón del hidrógeno hace desde y hacia la primera órbita o estado básico del hidrógeno a las órbitas 2,3,4,y 5. La serie de Balmer relaciona los cambios de estado o brincos del electrón entre la segunda órbita y las órbitas 3 a 6. La serie de Paschen entre la 3 y las 4 a 7, la serie de Brackett entre las órbitas 4,6 y 7 y finalmente la serie de Pfund entre las órbitas 5 y 7 Todas estas series, pero sobre todo las de Lyman y Balmer se convirtieron en poderosas herramientas en los estudios de los espectros de las estrellas.

La relación entre las líneas en la serie era motivo de investigación profunda. El suizo J. J. Balmer fue el primero en proponerse encontrar la relación que debía existir entre las líneas. Balmer era además maestro en el dibujo, y tan artista como sabio, estaba convencido de la omnipresencia de relaciones armónicas en los fenómenos físicos y no admitía que el espectro pudiera ser una excepción. Su perseverancia triunfó en 1885, cuando después de muchos cálculos, encontró la relación numérica entre las líneas del hidrógeno en la parte visible del espectro. Su fórmula empírica describe con extraordinaria exactitud la longitud de onda de las líneas espectrales del hidrógeno. La fórmula de Balmer, generalizada ya por Walter Ritz permitió predecir no sólo una, sino un conjunto de series de líneas espectrales del hidrógeno en el rango del ultravioleta e infrarrojo. Además, se reveló que las líneas de otros elementos también obedecen a fórmulas semejantes, aunque más complejas.

Gustav R Kirchhoff físico prusiano trazó un mapa del espectro solar, asignando a un gran número de líneas los elementos químicos que las engendran. Junto con Robert Bunsen físico y químico alemán experimentaron con los espectros y descubrieron el Cesio y el Iridio. El sueco A. J. Angström le siguió; fue el primero que describió las líneas

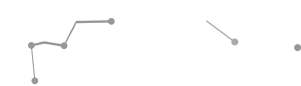


espectrales del sol en términos de longitud de onda. En el mismo año, 1868, el astrónomo inglés G. Huggins dirigió el espectroscopio hacia la estrella Sirio y aplicando el efecto Doppler midió el corrimiento de las líneas, provocado por el alejamiento del astro. Este corrimiento se debe al hecho de que la longitud de onda de la luz de la estrella se alarga, dado que la estrella se aleja y entonces las líneas espectrales parecen desplazarse al rojo, es el mismo efecto que escuchamos cuando el tono del silbato del tren se hace más agudo cuando el tren se acerca y más grave cuando se aleja, el efecto Doppler juega un papel muy importante en la astrofísica pues permite conocer la velocidad radial de los objetos lejanos, conociendo el corrimiento al rojo de sus líneas espectrales. Así Huggins evaluó por primera vez la velocidad radial de una estrella. Pocos meses antes, todavía en el mismo año de 1868, un eclipse total de Sol dio una evidente prueba del descubrimiento de Bunsen y Kirchhoff: durante pocos segundos la fotosfera del Sol estuvo cubierta por la Luna y repentinamente aparecieron, en lugar de las líneas oscuras, las correspondientes líneas brillantes del espectro relámpago emitidas por la atmósfera solar, que gracias al eclipse, era la única que resplandecía. Una nueva ciencia nació: la Astrofísica. En las décadas que siguieron a la hazaña de Kirchhoff y Bunsen, la astrofísica puso, al alcance de la exploración fisicoquímica, no sólo al Sol y las estrellas, sino que también el súper ojo espectroscópico con el telescopio penetró hasta el interior de las nebulosas, alejadas de la Tierra por varios millones de años luz. Contrariamente a lo esperado, ningún cuerpo químico desconocido en la naturaleza terrestre dibujó sus rayas sobre las placas de los espectrógrafos. En 1869 las líneas del helio fueron atribuidas por el inglés J. Lockyer a un elemento que sólo existiría en el Sol, pero el helio se encontró en 1895 como parte integrante de la atmósfera del globo. El análisis espectral reveló la analogía química entre los astros y elevó al rango de certeza la concordancia sustancial de la



Tierra con las estrellas más remotas de la Vía Láctea y aún de las galaxias lejanas. La demostración de la unidad material del cosmos explorable es la sublime lección, históricamente la primera, que nos fue concedida por el espectroscopio, gracias a Kirchhoff y a Bunsen. Sin embargo, este éxito, a pesar de lo magnífico, es sólo uno de los numerosos conocimientos descubiertos por las líneas espectrales. Éstas nos suministran también mensajes de procesos en el mecanismo atómico. Son como la huella digital o el eco lejano de los fenómenos en el universo desde lo más pequeño hasta lo inmensamente grande. Casi la totalidad de los progresos realizados en el transcurso del siglo XX, en la exploración del interior atómico, los debemos a la profundizada interpretación de las líneas espectrales. Haber extendido los alcances de la investigación a las lejanías del macrocosmo es una más de las trascendencias del telescopio y de la capacidad humana como la de Kirchhoff y Bunsen, comparable, en belleza y magnitud con los descubrimientos de Newton.

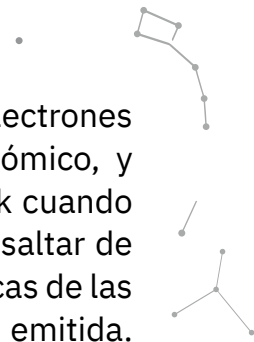
Al establecer una relación fija entre emisión y absorción de la radiación, Kirchhoff abrió, el camino al surgimiento de la espectroscopía; su ley aclaró muchos problemas, Pero también otros surgieron, como el del cuerpo negro que absorbe por completo la luz de de todas las longitudes de ondas, y emite todas, estando pues, dotado del máximo poder de emisión. Si se calienta un trozo de carbón o hierro, junto a los rayos infrarrojos y rojos, que son los primeros en aparecer, pero al aumentar la temperatura surgen crecientes amarillos, azules y violetas. La emisión entonces depende sólo de la temperatura.. Apoyado en las mediciones de J. Tyndall y de otros, el físico austriaco J. Stefan (1835-1893) dedujo en 1879 que la radiación total del cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Una vez determinado el número de calorías irradiadas en un segundo por un centímetro cuadrado de cuerpo negro, la ley



- de Stefan permitió hacer el primer cálculo de la temperatura de la superficie del Sol, en $6,000^{\circ}\text{C}$, siempre que el Sol fuera considerado como un cuerpo negro, que absorba toda radiación. Aunque sabemos que la temperatura en el interior del Sol es de 15 millones de grados centígrados su superficie tiene efectivamente una temperatura del orden de los 6,000 grados centígrados.



La ley de Stefan se estableció empíricamente, y el físico austriaco Ludwig. Boltzmann le dio forma analítica conforme a la teoría electromagnética de la luz de Maxwell. Sin embargo nadie que estudiara el problema de la radiación del cuerpo negro podía explicar en forma satisfactoria la repartición espectral de la energía. Pues la energía parecía tender al infinito al aumentar continuamente la frecuencia, Fue al final del siglo XIX y en el siglo XX que por fin la física se recompone, ya que el 14 de diciembre de 1900 Max Planck sugiere la innovadora idea de considerar la emisión radiante como un proceso no continuo que se emite mediante paquetes aislados de energía, poseedores de una magnitud determinada. Este paquete, llamado luego, el cuanto, es proporcional a la frecuencia de la luz, y a una constante universal de la naturaleza, la famosa constante h que más tarde inmortaliza el nombre de su descubridor como constante de Planck. Así, la energía de un cuanto está dada por su frecuencia y la constante de Planck. La semilla de la física moderna estaba plantada y crecería hasta transformar el la interpretación de la naturaleza y mostrar nuevas maravillas casi inauditas y desconcertantes, se aclaró el enigma de la radiación del cuerpo negro, que desconcertaba al mundo científico. Una de sus más impresionantes consecuencias era que por fin se explicaba que la razón de las líneas espectrales era la cambiante configuración de los electrones en los átomos. Balmer-Ritz describió admirablemente las líneas del hidrógeno, pero nada dijo de la razón por la que un elemento irradia cierta línea y no otra; dejó sin explicar la misteriosa relación entre el átomo



y su radiación. Fue hasta que Niels Bohr propuso que los electrones debían tener órbitas circulantes alrededor del núcleo atómico, y estas órbitas estando reguladas por la constante de Planck cuando propuso la osada hipótesis de que el electrón emite luz al saltar de una órbita a la otra y comprobó que las diferencias energéticas de las órbitas están relacionadas con la frecuencia de la radiación emitida. Entonces aparecieron en sus cálculos las frecuencias de las líneas espectrales explicándolo todo; cada vez que un electrón en el átomo, cambia de un nivel de energía mayor a un nivel de energía menor, transforma esa energía sobrante en un fotón de luz que se emite precisamente a la frecuencia correspondiente y la energía definida por la constante de Planck, con lo que en el espectro se percibirá como una línea definida de emisión, ahora bien, en el caso de que un electrón pase de un nivel energético menor a uno mayor tendrá que o hacerlo absorbiendo la energía necesaria correspondiente a la frecuencia de la luz absorbida, lo que se manifiesta en el espectro como una línea de absorción en la frecuencia específica de Planck. La luz es muy misteriosa y fascinante hoy mismo el mexicano Sabino Chávez Cerda descubre que la luz no sólo viaja en línea recta sino que también rota la viajar.

El telescopio, ojo mágico de la humanidad no sólo descubre los misterios del firmamento, también contribuye a develar los más recónditos misterios de la física en las partículas atómicas y demuestra que hay pocas cosas que se pueden ocultar a su escrutinio.

Los espectrómetros y espectrógrafos, no son los únicos instrumentos que acoplados al telescopio revelan más y mejor información sobre los lejanos objetos observados, en un principio las observaciones hechas a través del telescopio con el ojo maravillaban a los observadores por su novedosa belleza, entonces sólo quedaba la impresión y el recuerdo de lo observado, muchos observadores tomaban notas

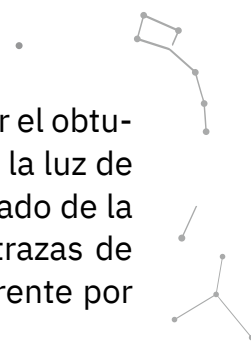


- de las posiciones de los objetos observados, para hacer cálculos más precisos de los movimientos celestes, y en consecuencia mejorarlas predicciones de los fenómenos astronómicos, por eso la astronomía con el telescopio se comenzaba a convertir en una ciencia rigurosa y metódica. Sin embargo los registros de las observaciones sólo se recordaban mentalmente o en el mejor de los casos los observadores con capacidad artística podían hacer dibujos de lo observado, por eso la fotografía estaba destinada a jugar un muy importante papel en la observación astronómica, y el instrumento que obviamente debía adaptarse al telescopio sería la cámara fotográfica.



La fotografía

La fotografía descubierta desde 1830 se aprovecha relativamente pronto en la investigación y observación del cielo, y se convierte en una rama imprescindible de la astronomía. Las ventajas de su empleo se basan principalmente en que una placa fotográfica puede acumular la luz que recibe a través del sistema óptico del telescopio, y mediante largos tiempos de exposición se pueden hacer visibles nuevos cuerpos celestes que escapan a la vista simple del ojo, está claro que para lograr largos tiempos de exposición, los sistemas de guiado de los telescopios deben ser muy precisos, para así seguir los objetos a ser fotografiados, compensando la rotación de la Tierra durante el tiempo que dura la exposición fotográfica, misma que puede llegar a ser de hasta dos noches. En consecuencia los sistemas mecánicos de guiado y seguimiento de los telescopios han tenido que ser refinados constantemente para lograr mayor precisión desde el momento en que la fotografía comenzó a usarse para registrar las observaciones. Un buen experimento de cómo la fotografía registra la luz de las estrellas y el movimiento de rotación de la tierra consiste en colocar una cámara fotográfica sobre un trípode



apuntando a un cielo nocturno suficientemente oscuro, abrir el obturador durante algunos minutos y dejar que la cámara capte la luz de las estrellas en la película o en su detector digital. El resultado de la exposición será una fotografía que muestra una serie de trazas de luz correspondientes a las estrellas en su movimiento aparente por el cielo nocturno.

La fotografía arranca con el descubrimiento de la cámara oscura, y las investigaciones sobre el ennegrecimiento de las sales de plata. Aunque comienza propiamente en el año 1839, con el procedimiento del daguerrotipo desarrollado y perfeccionado por Louis Daguerre, a partir de experiencias previas de Niépce. Quien, con una cámara oscura, obtuvo una primera imagen negativa, que por supuesto era todavía imperfecta e inestable. En 1826, Niépce consigue su primera heliografía, sobre el betún de Judea o asfalto.

Louis Daguerre se asocia con Niépce, y juntos desarrollan las investigaciones sobre la creación de imágenes, pero en 1833 fallece Niépce y Daguerre continúa solo hasta que logra obtener un procedimiento confiable y comercial: El daguerrotipo, que se presenta en 1839 en la Academia de Ciencias y Bellas Artes de Francia.

Ese mismo año 1839 se divulga mundialmente el procedimiento del daguerrotipo; el sistema consiste en la obtención de una imagen sobre una superficie de plata pulida, normalmente las placas eran de cobre plateado, pues sólo era necesario disponer de plata en la superficie de una cara de la placa, la placa entonces se exponía a la luz de un objeto por medio de una cámara oscura y luego se revelaba con vapores de mercurio, apareciendo la imagen en la cara plateada de la placa, que previamente se había sensibilizado con vapores de yodo. Por supuesto que éste era un procedimiento caro, con un equipo muy pesado, y que al principio necesitaba, un tiempo de exposición

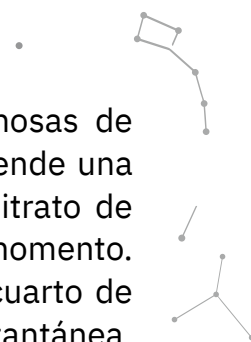


- muy largo; de varios minutos. Además resultaba peligroso ya que los vapores de mercurio son realmente dañinos para la salud.



En 1840 William Henry Fox Talbot desarrolla un sistema negativo-positivo, con un procedimiento distinto llamado calotipo, que consistía en obtener un negativo sobre un papel, fotosensible que luego por contacto, era convertido en positivo sobre otra hoja del mismo tipo de papel. El papel se humedecía en una solución ácida de nitrato de plata, antes y después de la exposición y antes de ser fijada. Esto condujo más tarde al invento de la copia fotográfica, ya que por primera vez con un único negativo se podían obtener varios positivos. Con el objeto de mejorar la nitidez de las imágenes, se necesitaba evitar las rugosidades del papel, por eso en 1850 se empleó papel liso de albúmina, en las copias a la albúmina, las fibras del papel están recubiertas con una capa de albúmina de huevo. Luego este papel se sensibilizaba en nitrato de plata, obteniendo así, un papel con gran tersura y en consecuencia impresiones más nítidas.

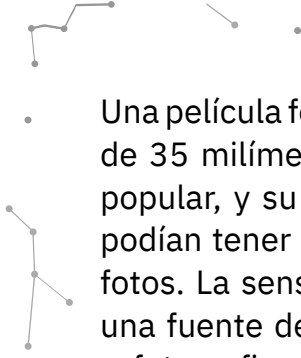
En 1851 se presenta el nuevo procedimiento fotográfico del colodión húmedo. El colodión se vierte líquido sobre las placas de vidrio, muy limpias. A continuación las placas se sensibilizan en un tanque con nitrato de plata, y se cargan en bastidores, lo que permite la obtención de imágenes negativas muy nítidas. Se llama “colodión húmedo” porque la placa tiene que permanecer húmeda durante todo el procedimiento de exposición y revelado de las imágenes. Esto suponía que los fotógrafos tenían que llevar consigo un laboratorio fotográfico portátil, a fin de preparar la placa antes de la toma y proceder a revelarla inmediatamente. Se generalizó así el uso de tiendas de campaña y carromatos reconvertidos en laboratorios sobre todo para los fotógrafos de viajes que trabajaban en el exterior.



En 1871 aparece el procedimiento de las placas gelatinosas de bromuro, estas son placas de vidrio sobre las que se extiende una solución de bromuro, agua y gelatina sensibilizada con nitrato de plata; que ya no necesitan mantenerse húmedas en todo momento. El tiempo de exposición disminuye entonces hasta a un cuarto de segundo, lo que ya se acerca a la idea de una fotografía instantánea, antes de esto, era muy difícil fotografiar personas, pues era necesario que se mantuvieran muy quietas sin respirar siquiera durante el tiempo de exposición de la placa. Sin embargo para el uso astronómico se siguieron usando placas de vidrio porque permitían obtener fotos de campos más amplios y mejores resoluciones, además las placas una vez reveladas pueden ser observadas al microscopio para descubrir detalles más finos del cielo nocturno fotografiado.

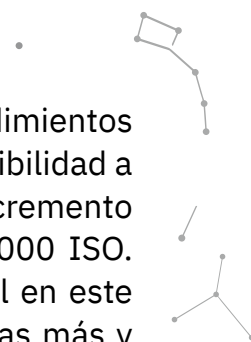
La investigación llevó a lograr finalmente a lograr un negativo seco que además se podía guardar después de ser expuesto para revelarse posteriormente en el cuarto oscuro del laboratorio, de esta forma los fotógrafos no necesitaban ya viajar cargando todo el laboratorio de revelado consigo. Este avance se deba al químico Inglés Joseph Swan, quien al observar que el calor aumentaba la sensibilidad de la emulsión de plata se le ocurrió secar las planchas con calor, lo que además las hacía más manejables, patentó su proceso en 1871, luego en 1878 otro británico Charles Bennett patentó una plancha seca recubierta con emulsión gelatinosa de bromuro de plata y al año siguiente Swan patentó finalmente el papel seco.

En 1907 la fábrica de Lumière comercializa la fotografía en color con diapositivas o transparencias en vidrio, conocidas como placas auto cromas. Pero para obtener la imagen a color era necesario hacer tres exposiciones con tres diferentes cámaras o con una cámara de tres exposiciones.



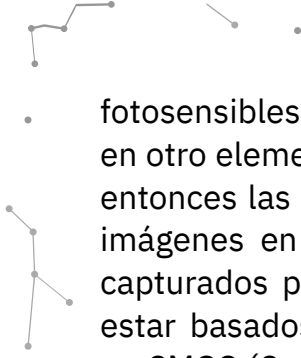
- Una película fotográfica que marcó un hito en la historia fue la película de 35 milímetros que apareció en Alemania en 1925, se hizo muy popular, y su precio bajó de manera que no sólo los profesionales podían tener una sino mucha gente era capaz de tomar sus propias fotos. La sensibilidad de la película era muy pobre y se necesitaba una fuente de luz artificial para aumentar la iluminación del objeto a fotografiar, lo que más tarde se convirtió en el flash, comenzó como finos polvos de magnesio que se incendiaban al momento de disparar y producían un destello brillante y una nube cáustica, en 1930 apareció el primer flash eléctrico que evolucionó hasta los elaborados flashes electrónicos de hoy que además pueden graduar automáticamente la intensidad de la luz que deben desplegar para obtener una buena foto. Más tarde, en 1935 Kodak y Agfa en 1936 lanzaron las películas en carrete de 35 milímetros capaces de tomar transparencias a color, y la película Kodacolor de 1941 pudo crear impresiones a color lo que popularizó definitivamente la fotografía y la cinematografía. Ya que el mercado del carrete de película fotográfica, permitía la rápida y progresiva toma de fotos que no es otra cosa más que el cine.

Durante la II Guerra Mundial, aparecieron muchas innovaciones fotográficas, para empleo en el campo militar pero fueron puestas a disposición del público en general al final de la guerra; nuevos productos químicos para el revelado y fijado de la película, y la computación facilitaron, la solución de las arduas tareas matemáticas necesarias para el diseño de lentes. Con lo que aparecieron en el mercado muchas nuevas lentes que hasta se podían intercambiar en las cámaras de aquella época. En 1947, el físico estadounidense Edwin Herbert Land, desarrolló la cámara Polaroid Land, basada en sus estudios y descubrimientos lo que añadió a la fotografía de aficionados el atractivo de revelar las fotos a los pocos minutos después de haberlas tomado.



En las siguientes décadas los desarrollos de nuevos procedimientos industriales permitieron incrementar enormemente la sensibilidad a la luz de las películas en color y en blanco y negro. El incremento pasó de un máximo de 100 ISO hasta otro teórico de 5.000 ISO. La astronomía y el telescopio jugaron un importante papel en este avance ya que cada vez más se requerían placas y películas más y más sensibles para detectar los objetos más débiles y lejanos del universo para poderlos estudiar mejor. Sin embargo esta misma década estaba viendo aparecer los nuevos dispositivos electrónicos, llamados amplificadores de luz, que intensificaban la luz débil y hacían posible registrar incluso la tenue luz procedente de estrellas muy lejanas. Dichos avances en los dispositivos mecánicos consiguieron elevar sistemáticamente el nivel técnico de la fotografía para aficionados y profesionales. En la década de 1960 se introdujo la película Itek RS, que usaban productos químicos más baratos, como el zinc, el sulfuro de cadmio y el óxido de titanio, en lugar de los caros compuestos de plata. Una nueva técnica llamada fotopolimerización hizo posible la producción de copias por contacto sobre papel normal no sensibilizado. La fotografía química en la cúspide de su desarrollo no se imaginaba que caería en desuso rápidamente pues la electrónica desarrollaba una nueva alternativa tecnológica a la obtención de imágenes.

Finalmente, en los años 1980, en la constante búsqueda de una mejor manera de detectar la Luz, aparece la electrónica, y en la Universidad Nacional Autónoma de México, Claudio Firmani junto con Élfego Ruiz, desarrollan para el telescopio un receptor al que llaman Mepsicron, que es capaz de detectar y recolectar cantidades de luz muy pequeñas para así tener mejores datos astronómicos, con esto comienza la digitalización del ámbito fotográfico y el desarrollo de sensores electrónicos que dispone de múltiples unidades

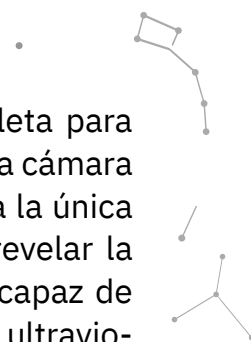


- fotosensibles, las imágenes son entonces capturadas y archivadas en otro elemento electrónico que constituye la memoria. A partir de entonces las cámaras digitales utilizan sensores de luz que forman imágenes en píxeles con la información obtenida de los fotones capturados por sensores electrónicos muy sensibles, que pueden estar basados en tecnología CCD (Charge-Coupled Device) o bien en CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). La imagen digital resultante se almacena electrónicamente, puede ser reproducida en papel o en película y más aún puede ser manipulada con algoritmos que permiten refinarla, filtrarla y aumentarla.

La astronomía y el telescopio aportan al mundo la tecnología digital que permite ahora a casi todo mundo tomar fotos y videos con cámaras digitales y hasta con teléfonos celulares equipados con estos dispositivos originalmente desarrollados para el telescopio y la astronomía.

Fotografía con luz infrarroja y ultravioleta

La fotografía no sólo se convierte en una herramienta vital para la astronomía y el telescopio, sino también en una especie de bola de cristal que revela secretos escondidos para el ojo humano, sabemos que el espectro de la luz visible sólo va del rojo al violeta, sin embargo las emulsiones de las placas fotográficas, y los detectores electrónicos son capaces detectar luz más allá de esos colores o frecuencias, tales como el ultravioleta y el infrarrojo, lo que abre la ventana a todo un mundo nuevo de imágenes nunca antes vistas por el hombre. La fotografía puede revelar por primera vez las imágenes de objetos con colores no visibles al ser humano y esto es como un hito en la historia y la ciencia. Las películas normales son ya de por sí sensibles a la luz ultravioleta. Uno de los métodos para realizar fotografía



ultravioleta consiste en utilizar una fuente de luz ultravioleta para iluminar el objeto, y además colocar un filtro al objetivo de la cámara que permita únicamente el paso de esta luz. De esta forma la única luz que llegará a la película será la luz ultravioleta, y al revelar la placa se verá el objeto tal y como se vería si el ojo fuera capaz de detectar esta luz, revelando así la imagen de las emisiones ultravioleta del objeto. Otro método se sirve de la fluorescencia causada por la luz ultravioleta. El filtro de que está provista la cámara absorbe la luz ultravioleta y permite el paso de la fluorescente. Una importante aplicación de este tipo de fotografía es el estudio de documentos falsificados, ya que la luz ultravioleta detecta los rastros de escritura borrada.

Algunos plásticos y otros productos químicos que reaccionan a la luz ultravioleta sustituyen a la emulsión de haluros de plata de las películas normales en diversos procesos, para producir imágenes fotográficas con la gama ultravioleta del espectro. En uno de estos procesos la superficie de sustancias plásticas expuestas a los rayos ultravioleta se endurece en proporción directa a la exposición, y al eliminar las zonas no endurecidas surge una imagen fotográfica correspondiente sólo a las emisiones en luz ultravioleta. En otros procesos se coloca una fina película de productos químicos entre las hojas de plástico. Estos productos químicos emiten burbujas de gas en cantidades proporcionales a la exposición recibida de luz ultravioleta en la zona cuando se les expone. Las burbujas crecen y se hacen visibles con la aplicación de calor en las hojas, creando así una transparencia en la que las burbujas de gas forman la imagen. Otro tipo de plástico, al ser calentado, reacciona químicamente con las burbujas de gas, de modo que se obtiene en las hojas de plástico una imagen positiva con manchas. La película foto cromática, creada por la National Cash Register Company, utiliza un tinte sensible a la luz ultravioleta. Se pueden obtener enormes ampliaciones, ya que este

tinte no posee estructura granular. Por lo tanto, se pueden conseguir ampliaciones de una película que contenga un libro entero en un espacio del tamaño de un sello o estampilla de correos.

Las aplicaciones de estos fenómenos obtenidos para el telescopio y la astronomía se abren en una amplia gama práctica, que va desde procesos industriales, artes gráficas materiales espaciales, hasta los modernos compuestos que se usan hoy en día para obturar las muelas y dientes en el consultorio del dentista, y que no hacen esperar al paciente para una complicada curación como sucedía antes, así pues la tecnología que se desprende de la astronomía demuestra una vez más que no sólo nos deleitamos con la contemplación y el estudio del universo entero sino que hacemos nuestras vidas más fáciles con los desarrollos que la ciencia y el telescopio han provocado en la vida cotidiana.

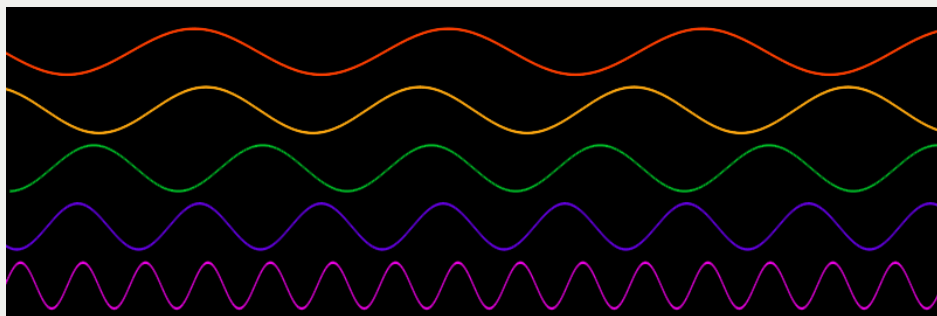


Fig. 28 Diferentes longitudes de onda corresponden a diferentes colores.

El Fotómetro y cómo mide la distancia a las galaxias

Notamos que amanece desde nuestra habitación, porque aunque sea una parte pequeña de la luz del sol matinal que se filtra por las cortinas de nuestro dormitorio y nos permite reconocer un cambio en la luminosidad de la habitación, de la misma manera al pasar del exterior hacia una habitación oscura, podemos diferenciar si su luz es suave o no, o si la iluminación es uniforme. También podemos considerar la intensidad de un foco luminoso, el flujo de luz y la iluminación que presentan las cosas expuestas a ella. Podemos estudiar todos esos fenómenos y efectos de la luz con la técnica que se denomina FOTOMETRÍA.

La luz, como las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de tantas formas de la energía, y la energía se mide en joules (J) en el Sistema Internacional, sin embargo necesitamos nuevas unidades para la luminosidad. La razón es más simple de lo que parece. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni siquiera se utiliza toda la energía que se consume para emitir luz, por ejemplo, un foco o bombilla convierte sólo parte de la electricidad en luz, pues la mayor parte se desperdicia en calor. Por lo tanto necesitamos una manera de evaluar solamente la luz que percibimos, por eso necesitamos nuevas magnitudes como: La intensidad luminosa, el flujo luminoso, la iluminancia, la eficiencia luminosa y la cantidad de luz.

La cantidad de luz o intensidad luminosa es la medida que más importa para en el estudio de los objetos celestes a través del telescopio, para esto se utiliza el fotómetro que permite evaluar la intensidad de la luz del objeto observado, la observación de la intensidad

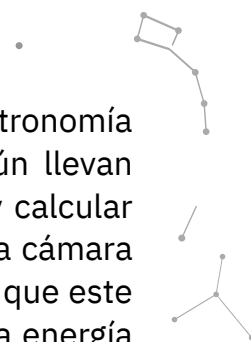


- de la luz en los objetos celestes ha llevado a grandes e importantes descubrimientos y conclusiones que veremos más adelante.



El fotómetro más sencillo es conocido como fotómetro de la mancha de aceite y fue inventado por Bunsen, el mismo que inventó el mechero que lleva su nombre. Su funcionamiento se basa en las leyes de la fotometría que nos indican que la luminosidad disminuye con el cuadrado de la distancia. Entonces este fotómetro consiste de un riel con escala métrica, en cuyos extremos se colocan dos fuentes de diferente intensidad una de intensidad conocida o patrón y la otra desconocida, entre ambas hay un marco con una hoja blanca de papel que tiene una mancha de aceite. Unos espejos ajustados en un ángulo preciso permiten observar simultáneamente ambas caras de la hoja de papel. A un lado del riel está colocada la fuente luminosa patrón de intensidad conocida, a una distancia medida por la escala del riel, esta luz permite ver la mancha de aceite, al otro lado está la fuente de intensidad desconocida a una distancia X . Observando la mancha de aceite a través de los espejos en ambas caras del papel, podremos mover el foco de intensidad desconocida hasta una distancia tal que su iluminación sea exactamente la suficiente para que la mancha de aceite se ilumine tanto que desaparezca de la visión. En este punto, la iluminación de ambos focos es la misma, pudiendo determinarse la intensidad luminosa desconocida a partir de la fórmula inversa cuadrática de la intensidad luminosa.

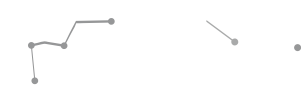
El fotómetro eléctrico nació en Inglaterra a finales del siglo XIX y fue mejorado en Estados Unidos al comienzo del siglo XX, su principio se basa en compuestos que tienen la característica natural de desprender electrones al recibir luz, y entre más luz reciben más electrones desprenden, luego el conteo de los electrones desprendidos nos permite calcular la cantidad de luz recibida. Este sistema



ha sido muy útil durante muchos años, tanto para la astronomía como para la fotografía, muchas cámaras fotográficas aún llevan incorporado un fotómetro de este tipo para medir la luz y calcular los parámetros de apertura y velocidad de obturación en la cámara fotográfica, obteniendo así buenas fotos. No sólo eso, sino que este principio es el usado en las celdas solares para convertir la energía solar en electricidad y utilizarla en la vida diaria, como una fuente inagotable de energía limpia, un aporte más de la astronomía y del telescopio a la tecnología y al cuidado del medio.

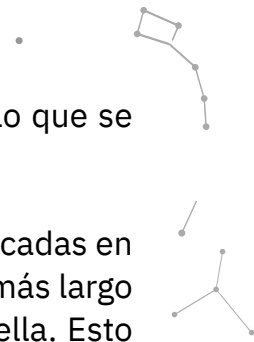
Los fotómetros eléctricos de selenio funcionan gracias a la propiedad que tiene este elemento metaloide de variar su resistencia eléctrica según la luz incidente. Para efectuar mediciones de la cantidad de luz incidente, a través del telescopio se recibe la luz del astro y se hace incidir sobre un fragmento de selenio conectado en serie con el circuito de una fuente o pila y un galvanómetro: las desviaciones del galvanómetro indicarán la cantidad de la luz incidente. Los fotómetros fotoeléctricos también se basan en la propiedad que tienen los metales alcalinos como el potasio y sodio para emitir electrones en proporción a los fotones que reciben, o sea a la iluminación recibida. Ahora bien, si un fragmento de alguno de estos metales, se conecta al polo negativo de una pila, y se introduce en una bombilla llena de gas inerte a una baja presión de 1 milímetro de mercurio, los electrones emitidos por el metal alcalino a causa de la luz producen un campo eléctrico, cuyo valor podrá determinarse mediante un electrómetro, y la medida del campo eléctrico será proporcional a la luz recibida por el metal, lo que nos permitirá evaluar la cantidad de luz recibida.

Los fotómetros eléctricos de todo tipo ya no se usan pues los modernos fotómetros electrónicos como el CCD, *charge-coupled device* son capaces de distinguir luminosidades tan pequeñas como del orden de una milésima de magnitud luminosa y eso permite



• evaluar tanto el brillo como la variación del brillo de los astros con la enorme precisión necesaria como para buscar planetas orbitando alrededor de estrellas muy lejanas, en efecto gracias a la fotometría se puede detectar si un planeta oscuro girando alrededor de una estrella brillante, es capaz de disminuir el brillo de la estrella cuando se interpone en la línea de visión entre nuestro telescopio y la estrella como si se tratara de un micro eclipse, si se observa esta disminución del brillo por pequeña que esta sea y la disminución del brillo se repite periódicamente, podemos inferir que existe un planeta orbitando alrededor de esta estrella o sol y que en cada vuelta que da oculta una pequeña fracción del brillo de la estrella. De esta manera se han descubierto ya muchos planetas extra solares.

Uno de los avances más importantes logrados en el campo de la astronomía se debe al uso de los fotómetros, ya que gracias a ellos se pudo determinar por primera vez la distancia a las galaxias. El problema de medir las enormes distancias que nos separan de las galaxias era muy difícil de resolver, pues sólo para medir la distancia a las estrellas más cercanas se había podido usar con relativo éxito el método del paralaje trigonométrico, pero para distancias mayores parecíamos estar condenados a nunca conocer esas dimensiones enormes. Gracias al uso del fotómetro se pudo detectar por primera vez, que algunas estrellas presentaban variaciones en su luminosidad, es decir la luz emitida por este tipo de estrellas era durante un tiempo más brillante para luego decaer a una intensidad menor y posteriormente volver a brillar más intensamente, el tiempo que transcurre entre el ciclo de mayor brillo, menor brillo y vuelta al brillo mayor se llama el periodo de variación luminosa de la estrella. A este tipo de estrellas se les llama estrellas variables, pero hay otras más que tienen periodos de variación que se pueden definir con precisión y se sabe que la magnitud del brillo de la estrella está en función del periodo de variación de su brillo, las primeras estrellas de este



tipo fueron descubiertas en la constelación de Cefeo, por lo que se llaman Cefeidas.

En 1908 Henrietta Leavitt estudió 16 estrellas variables ubicadas en la Pequeña Nube de Magallanes, se dio cuenta que cuanto más largo era el ciclo del cambio, o periodo más brillante era la estrella. Esto la llevó a encontrar una relación matemática para este fenómeno: las magnitudes de los brillos eran proporcionales a los periodos. Una fuente luminosa como una estrella tiene una magnitud de brillo absoluta y una magnitud de brillo aparente, esto es si observáramos una estrella débil pero muy cercana, podría parecer más brillante que una estrella mucho más brillo pero que estuviera mucho más lejos, entonces para calibrar el brillo en función de la distancia es necesario a definir la magnitud absoluta, que es el brillo que tiene una estrella observada desde una distancia particular de 10 parsecs ó 32,6 años luz. Entonces si supiéramos la magnitud absoluta de una estrella, es decir su brillo cuando se le observa desde una distancia de 32.6 años luz y comparamos la magnitud aparente de esa misma estrella tal y como la vemos desde la Tierra, podemos calcular su distancia a la Tierra porque sabemos que su brillo decrece con el cuadrado de su distancia y eso nos permite calcular la distancia en función de su luminosidad. Y el problema de medir la distancia a las estrellas se convierte ahora sólo en una cuestión de conocer su magnitud absoluta, pero Henrietta Leavitt dio el primer paso para conocer las magnitudes absolutas al darse cuenta que en las estrellas Cefeidas la luminosidad era función del periodo de variación.

Asimplevistase nota claramente que unas estrellas son más brillantes que otras. Los antiguos griegos intentaron clasificar las estrellas según su brillo, Hiparco introdujo la base del sistema de magnitudes que se utiliza hasta hoy en día. El clasificó las estrellas en categorías, que denominó magnitudes. A las estrellas más brillantes que

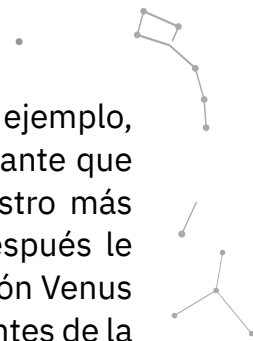


- eran visibles poco después de la puesta de Sol, les asignó la primera categoría o primera magnitud. Las estrellas que eran aproximadamente la mitad de brillantes las denominó de segunda magnitud, y así sucesivamente hasta que llegó a las estrellas más débiles pero aún visibles a simple vista en un cielo negro y transparente que son las de sexta magnitud.



En el siglo XIX, se intentó cuantificar mejor la escala de magnitudes, y se pudo establecer que las estrellas de sexta magnitud son unas 100 veces más débiles que las estrellas de primera magnitud, por lo que entre dos magnitudes sucesivas hay una diferencia de brillo de aproximadamente 2,5 veces, o más precisamente igual a la raíz quinta de 100. lo que establece una escala logarítmica. Por último se tomaron algunas estrellas como patrón de referencia, a partir de las cuales se podían medir los brillos del resto de las estrellas. Una vez que la relación de brillo entre dos estrellas podía medirse, para ese entonces con los fotómetros y asignar una magnitud a cada brillo. Si queremos saber pues cuál es la diferencia de brillo entre dos estrellas, sólo debemos usar la escala logarítmica para hallar la diferencia entre las estrellas. Por ejemplo, una estrella de magnitud 10, es aproximadamente 40 veces más débil que una de sexta magnitud (exactamente 39,81 veces). Puesto que las estrellas también pueden adquirir brillos intermedios, el cálculo de magnitudes incluye fracciones de magnitud o decimales, por lo que directamente diremos que por ejemplo una estrella posee un brillo de 8,77 magnitudes, ó 5,02 magnitudes, etc.

Se puede notar un hecho curioso de la escala de magnitudes; la magnitud aumenta cuando el brillo disminuye y viceversa. Por ejemplo, las estrellas de 1ª magnitud, fácilmente visibles a simple vista son 100 veces más brillantes que las de 6ª magnitud, apenas visibles a simple vista. La consecuencia de todo ello es que los



objetos muy brillantes adquieren magnitudes negativas. Por ejemplo, una estrella que sea aproximadamente 2,5 veces más brillante que otra de 1ª magnitud, tendrá una magnitud negativa. El astro más brillante del cielo es el Sol con una magnitud de -27, después le sigue la Luna llena con una magnitud de -12, y a continuación Venus con una magnitud máxima de -4,5. Hasta hace unos años, antes de la llegada de las nuevas tecnologías de registro digital de imágenes, las estrellas más débiles que podían fotografiarse con telescopios eran de magnitud 23, es decir, unos 631 millones de veces más débil que una estrella de 1ª magnitud.

Tabla comparativa de magnitudes de brillo aparentes y absolutas

Aparente	Absoluta	Objeto	Distancia
-26,7	4,6	Sol	150 millones de Km
-12,0	33,0	Luna Llena	385 mil Km
-4,3	30,0	Venus (máximo)	42 millones Km (prom)
-1,6	1,4	Sirius	8.7 Años Luz
0,0	4,7	Alfa Centauri	4.3 Años Luz
0,6	-5,2	Beta Centauri	4.3 Años Luz
-0,06	0,29	Arcturus	38 Años Luz
0,86	-0,63	Aldebaran	65 Años Luz
0,18	-6.7	Rigel	500 Años Luz
4,0	-20,5	Galaxia Andrómeda	2,5 millones Años Luz

De acuerdo a los datos de esta tabla; el Sol, a pesar de que es el objeto más brillante que se ve en cielo terrestre, apenas si sería visible en un cielo citadino a la distancia patrón. Alfa Centauri y el Sol, tienen casi del mismo brillo absoluto, lo que nos hace pensar en

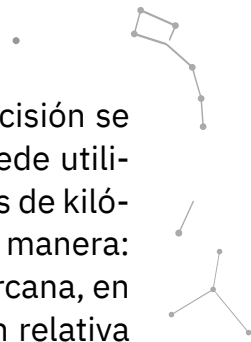


- que pueden ser muy parecidos, Sirius es en realidad bastante más brillante que el Sol o que Alfa Centauri, Beta Centauri, a la distancia patrón, se vería más brillante que Venus en el cielo terrestre, y ni la Luna ni Venus se podrían ver con telescopios, ni siquiera el telescopio Hubble los podría fotografiar con los equipos que existen actualmente. Andrómeda por ser una galaxia, formada por miles de millones de estrellas, tiene una magnitud absoluta muy alta, pero a la enorme distancia que se, encuentra, apenas si se ve muy débil a simple vista en una noche muy oscura y despejada y en excelente sitio, sin embargo a la distancia patrón de 10 pársec su brillo sería sólo un poco menor al del Sol poniéndose por la tarde.



Puesto que no podemos viajar hasta las estrellas, debemos medir sus distancias por métodos indirectos. El único método que podían y pueden utilizar los astrónomos es el mismo de triangulación que utilizan los topógrafos cuando deben medir distancias inaccesibles, como la longitud de una carretera, la anchura de un río, o la altura y distancia de una montaña. Cuando se trata de medir la anchura de un río, por ejemplo, el topógrafo empieza por poner un par de marcas en el suelo separadas una cierta distancia que le es conocida. Posteriormente se busca una referencia al otro lado del río, como pueda ser un árbol o una roca. El topógrafo utiliza entonces un instrumento llamado teodolito, con el que mide los ángulos desde las marcas del suelo a la referencia al otro lado del río lo que forma la base, de un triángulo formado por las dos marcas y la referencia del otro lado, del cual se conoce la longitud de la base y dos ángulos. Posteriores cálculos trigonométricos permiten calcular las distancias exactas desde las marcas al otro objeto situado al otro lado del río.

En astronomía, hay que medir distancias inmensas y se debe utilizar un triángulo enorme, con la base de este triángulo lo más larga



posible, ya que cuanto más grande sea ésta base, más precisión se obtendrá en el resultado final. La base más grande que puede utilizarse es el diámetro de la órbita terrestre, unos 300 millones de kilómetros. El astrónomo entonces se las ingenia de la siguiente manera: primero escoge una estrella que sabe o supone que está cercana, en términos astronómicos claro, entonces se mide su posición relativa respecto a otras estrellas mucho más alejadas o “fijas”, y después se repite la medición al cabo de seis meses, cuando la tierra está al otro lado de su órbita alejada de la primera medición por una distancia igual a la de un diámetro de la órbita terrestre, más o menos a 300 millones de kilómetros, Si la estrella escogida está relativamente cerca, habrá sufrido un ligero desplazamiento angular respecto de las estrellas más lejanas conocidas como “estrellas fijas”, por el efecto de perspectiva. Para comprobar esto en casa se puede extender la mano con el dedo pulgar hacia arriba, y observar algunos objetos más lejanos que el dedo, primero con un sólo ojo y luego con el otro, entonces la perspectiva parece desplazar la posición del dedo pulgar observado, ese desplazamiento angular está basado en el mismo principio que se observa en la estrella cercana cuando se ve primero desde un lado de la órbita y luego desde el punto opuesto y es lo que permite construir un triángulo del cual conocemos la base y sus ángulos. Nuevamente, el cálculo trigonométrico permite la medida de la distancia a la estrella. Al desplazamiento angular que sufre la estrella al cabo de seis meses se le denomina paralaje, y es un dato fundamental en la medida de la distancia a las estrellas.

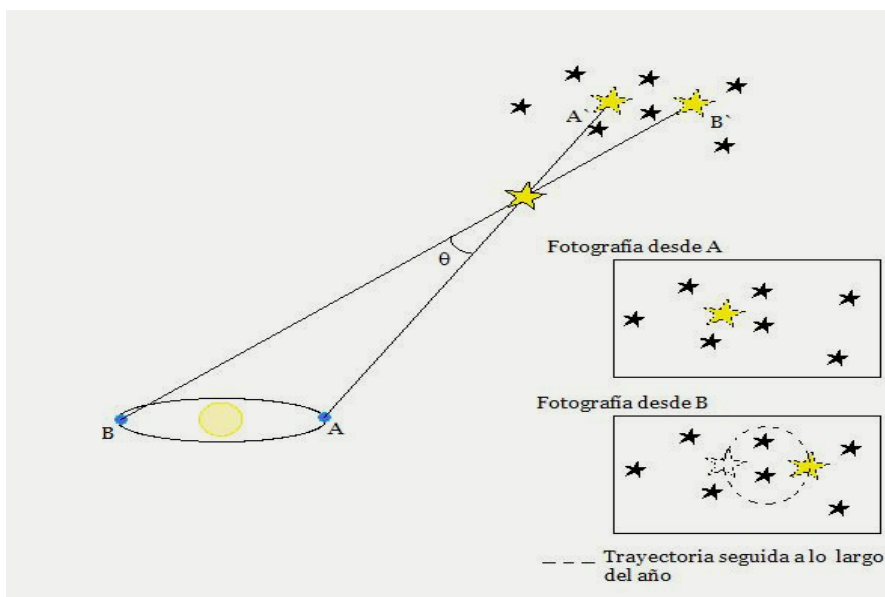
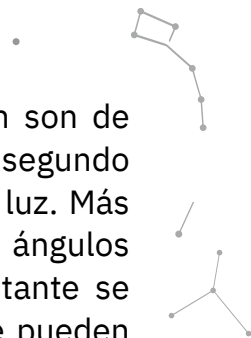


Fig. 29 El Paralaje trigonométrico .

Los paralajes de las estrellas cercanas son pequeñísimos, el paralaje más grande que puede medirse es el de la estrella más cercana, Alfa Centauri, que posee un valor solamente de 0,76 segundos de arco, esto es que ni siquiera llega a un segundo de arco. ¡Es como el ángulo que presenta el grosor de una hoja de papel, visto a 25 metros de distancia! Otra manera de tener una idea de lo grandes que son las distancias interestelares, o lo pequeño que son los paralajes, es dibujando a escala el triángulo que se obtendría al intentar medir la distancia a la estrella más cercana: Si la base se dibujara de 1 centímetro de longitud, la altura del triángulo debería tener 3 kilómetros.

El término pársec se utiliza mucho para medir distancias. Los astrónomos definen un pársec como 3,26 años luz, y es la distancia a la que debería encontrarse una estrella para presentar un paralaje de 1 segundo de arco. Los paralajes más pequeños que pueden



medirse con telescopios desde tierra con cierta precisión son de 0,01 segundos de arco, o sea la centésima parte de un segundo de arco y corresponde entonces a 100 pársec ó 326 años luz. Más allá de esa distancia, ya no es posible medir con precisión ángulos más pequeños para obtener distancias mayores. No obstante se han realizado mediciones desde el espacio con naves que pueden manejar bases de triángulos más grandes a través de sus recorridos interplanetarios proporcionando medidas de paralaje mucho más precisas. Son muy pocas las estrellas cuya distancia puede medirse hasta unos 330 años luz, unas 1.000, por lo que nuestra capacidad de medir directamente el universo usando esta técnica es muy limitada.

Pero una mente brillante como la de Henrietta consideró que usando las Cefeidas cuya distancia se había medido por el método del paralaje se podrían medir las distancias a las estrellas variables cercanas, y luego de medir su periodo, y sabiendo que este periodo es proporcional a la magnitud absoluta, conocer la magnitud absoluta comparándola con la magnitud aparente que se mide con el fotómetro y de esta comparación obtener la distancia, ya que sabemos que la magnitud decrece con el cuadrado de la distancia. ¡Parece fácil pero es genial! Al observar las estrellas variables de la galaxia conocida como la Nube Menor de Magallanes, Henrietta considero que como todas esas estrellas estaban más o menos a la misma distancia dentro de esa galaxia, puesto que todas pertenecían a la Nube Menor de Magallanes, la relación entre el periodo y la luminosidad es válida para las magnitudes absolutas, lo que permite calcular la distancia porque sabemos que la luminosidad decrece con el cuadrado de la distancia y al conocer el periodo sabemos la luminosidad absoluta, de donde se puede calcular la distancia a la que se encuentran las estrellas. E. Hertzsprung quien reconoció el potencial de el descubrimiento de Henrietta y se impuso la tarea de encontrar la forma de calibrar la relación periodo luminosidad de las estrellas variables



- Cefeidas, sin embargo para lograr la calibración correcta había que medir la distancia de una de estas Cefeidas por el método del paralaje lo que lo llevó algunos años, pues como sabemos, el método del paralaje requiere esperar seis meses a que la Tierra esté en una posición diametralmente opuesta al sol, para llevar a cabo la medición de cada una de las estrellas a medir, pero finalmente se logró la medición que permitió una calibración necesaria para confiar en las medidas obtenidas.

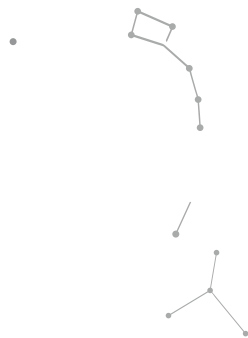


Harlow Shapley estudió cúmulos globulares con estrellas variables, y para 1918 estableció que los cúmulos se localizaban alrededor del centro de la Vía Láctea a unos miles de años luz de la Tierra, pero luego en 1919 midió la distancia al cúmulo de Hércules y el resultado sorprendente fue de 98 mil años luz, lo que representaba una distancia mayor que la estimada para nuestra propia galaxia de la Vía Láctea, esto era sorprendente porque demostraba que la galaxia era mucho más grande de lo calculado anteriormente.

Las sorpresas continuaron cuando en 1925 Edwin Hubble encontró estrellas Cefeidas en fotografías de Andrómeda el estudió de estas estrellas en la Nebulosa de Andrómeda llevó a la conclusión de que en realidad se trataba de otra galaxia independiente de la nuestra y a una distancia de 2 millones y medio de años luz. La nebulosa dejó de llamarse nebulosa para convertirse en la Galaxia de Andrómeda, Un triunfo más del telescopio con la ayuda del fotómetro y desde luego de las mentes brillantes de quienes supieron usarlo para la investigación científica.



CA PÍ TU LO 6



EL RADIOTELESCOPIO Y LOS NUEVOS DETECTORES

Un ojo todavía más mágico que ve lo invisible

La luz, que nos trae la información de todo el universo lejano y también del cercano, la información cotidiana recibida a través de nuestro sentido de la vista, es sólo una pequeña porción del espectro electromagnético de radiación, como ya lo hemos mencionado, es de esperarse que en el resto de la radiación no visible para el ojo humano exista otra gran cantidad de información invisible para nosotros, sin embargo esto no quiere decir que no podamos obtener esa valiosa información de otra manera, ya la cámara infrarroja demostró ser capaz de detectar información de la radiación invisible en la región más allá del rojo, que forma parte de la región no visible del espectro, en realidad la parte visible del espectro es muy pequeña comparada con todas las frecuencias que lo integran, por eso, la astronomía demanda a la tecnología instrumentos y técnicas que le permitan observar en diferentes partes del espectro no visible.

Una afortunada decisión fue el interés por desarrollar instrumentos que permitieran “ver” lo invisible del espectro electromagnético, la parte visible del espectro sólo abarca desde el rojo hasta el violeta, que corresponde a ondas con Longitudes de onda de frecuencias desde 400 a 700 nanómetros correspondientes a 4 tera Hz para a luz roja, 8 tera Hz para la luz violeta, y entre este rango de 4 a 8 tera Hz están los demás colores que conforman el del arco iris.

La radiación infrarroja, a su vez, se divide en tres secciones que se llaman infrarrojo cercano, infrarrojo intermedio e infrarrojo lejano. La longitud de onda de esta radiación va desde los 780 nanómetros hasta un milímetro, y resulta que toda molécula que tenga una temperatura mavor al cero absoluto. es decir mavor a menos 273.3

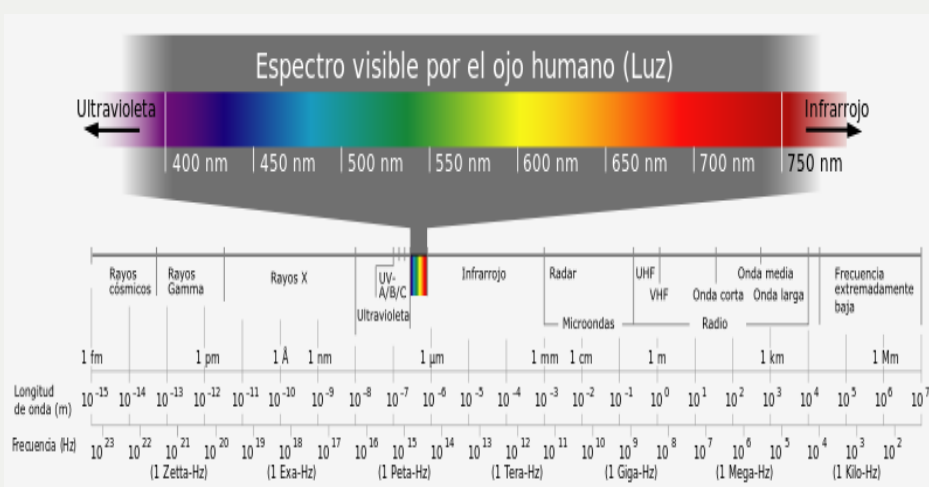
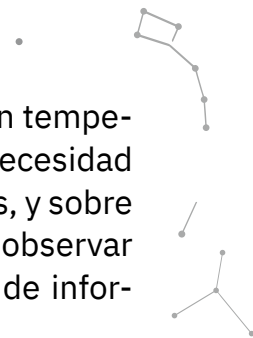


Fig. 30 El espectro electromagnético con la sección de luz visible.

grados Celsius o cero grados Kelvin, emite radiación infrarroja, y la cantidad de radiación emitida por esa molécula está directamente relacionada con su temperatura, por lo tanto, el poder observar el universo en estas longitudes de onda corresponde a poder observar:



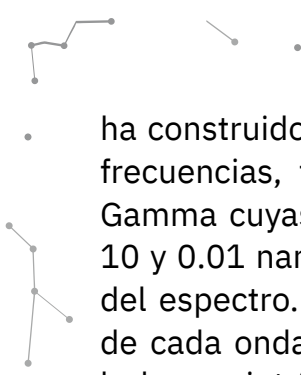
¡Todas y cada una de las moléculas del universo, que tengan temperatura superior al cero absoluto! Esto obliga y sugiere la necesidad de inventar sistemas, dispositivos, instrumentos, detectores, y sobre todo telescopios y toda clase de artilugios que nos permitan observar todas estas maravillas, hasta ahora invisibles, pero llenas de información muy útil.

Las llamadas microondas son las radiaciones comprendidas entre las longitudes de onda desde los 30 centímetros hasta un milímetro, que corresponden a frecuencias entre 100 Mhz a 300GHz. Esta radiación no sólo se usa para la comunicación y transmisión de datos, sino que también se encuentra en el universo como huella digital de acontecimientos pasados, de, por ejemplo, cuando el universo comenzó a enfriarse y a convertir la energía en materia. Obtener información de estas longitudes de onda corresponde a asomarse a ver el origen mismo del universo.

Las ondas de radio detectadas por Heinrich Hertz en 1887 tienen longitudes de onda del orden de metros, su rango de frecuencias se extiende desde unos pocos Hertz o ciclos por segundo hasta los megaHertz o millones de ciclos por segundo.

Por otra parte los Rayos X descubiertos por Konrad Roentgen en 1895 tienen longitud de onda menor a 10 nanómetros, y fueron bautizados así porque no se sabía nada de ellas y están completamente en otra parte del espectro electromagnético.

Al otro lado del espectro están las longitudes de onda más pequeñas comenzando con la luz ultravioleta que se propaga con longitudes de onda del orden de 10 a 400 nanómetros, o sea con ondas más cortas que la luz visible, sólo algunos seres vivos como las abejas son capaces de ver en el ultravioleta, sin embargo el hombre también



ha construido dispositivos que le permiten detectar la luz de estas frecuencias, finalmente al extremo del espectro están los rayos Gamma cuyas longitudes de onda son de las más pequeñas entre 10 y 0.01 nanómetros, sin embargo son las ondas más energéticas del espectro. La relación entre la longitud de onda y la frecuencia de cada onda está determinada por la velocidad de la luz, ya que la luz es intrínsecamente una onda electromagnética, y todas las radiaciones se propagan a la velocidad de la luz. Ésta velocidad de la luz es conocida como “C” y equivale a aproximadamente 300 mil kilómetros por segundo, entonces, cualquier onda electromagnética que oscile a una frecuencia dada, tendrá una longitud de onda que corresponde a la velocidad de la luz C dividida entre la frecuencia en ciclos por segundo. Por otra parte, la energía de las ondas electromagnéticas está relacionada con la longitud de onda, siendo las ondas con menor longitud de onda las que tienen más energía, mientras que las ondas de mayor longitud de onda tienen menos energía.

La gran extensión del espectro electromagnético, o si se quiere ver de otra manera la gran variedad de colores de la propia luz , nos lleva a preguntar: ¿Qué maravillas pueden ser observadas en los rangos del espectro invisibles para el ojo humano? El primer indicio de respuesta a esta pregunta fue encontrado por casualidad por el Ingeniero estadounidense Karl G Jansky de los laboratorios Bell, en 1932, cuando trataba de encontrar la causa del ruido que producía interferencias en las comunicaciones, y encontró que una señal de este tipo provenía de algún lugar, pero cambiaba de posición aparente completando un ciclo cada 24 horas, tal y como lo hacen el Sol y las estrellas en el cielo, Jansky no tenía conocimientos de astronomía, pero pudo deducir que la fuente de este ruido, al que él llamó “estática”, provenía del espacio ya que procedía de una fuente emisora que parecía recorrer la bóveda celeste cada día tal como lo hacen el Sol, la Luna y las estrellas. Pronto investigó que la señal procedía del

centro de la galaxia, y por lo tanto parecía salir y ponerse tal como el Sol y las estrellas, esto marcó el principio de la investigación en radioastronomía.

Más tarde el ingeniero Grote Reber hizo una antena para detectar señales con longitudes de onda de 1.87 metros, y localizó varias fuentes de emisión en la vía láctea, para 1944 hizo el primer mapa de las fuentes de emisión de nuestra galaxia, durante la segunda guerra mundial, se desarrolló mucho el estudio de las recepciones y emisiones de señales de radio y del radar, lo que llevó a la construcción de varios tipos de antenas y radio telescopios para investigar más acerca de la radiación en general.

En el año de 1965 dos ingenieros trabajando también en los laboratorios Bell, investigaban la manera de mejorar las comunicaciones, ellos eran Arno Penzias y Robert Wilson, quienes se volvieron famosos por detectar, por primera vez, la radiación remanente del Big Bang, en efecto, era la primera evidencia clara del brutal estallido con el que comenzó el universo 13 mil quinientos millones de años atrás, el impacto del descubrimiento fue enorme, ahora se podía entender la magnitud del universo y tener una buena aproximación de su edad. La radiación detectada por Wilson y Penzias se originó en el momento preciso de la creación del Universo, pero, para llegar a la antena receptora ha tenido que viajar a través del mismo universo por un tiempo tan largo como la propia edad del Universo. Y finalmente ésta valiosa información había llegado a un instrumento capaz de detectarla en la longitud de onda de radio. A esta radiación se le llama radiación de fondo, y proviene de todas partes, parece raro, pero en realidad esto es congruente con el hecho de que, al ser proveniente del nacimiento del Universo, y dado que el Universo mismo se expandió en todas direcciones, al paso de tanto tiempo,



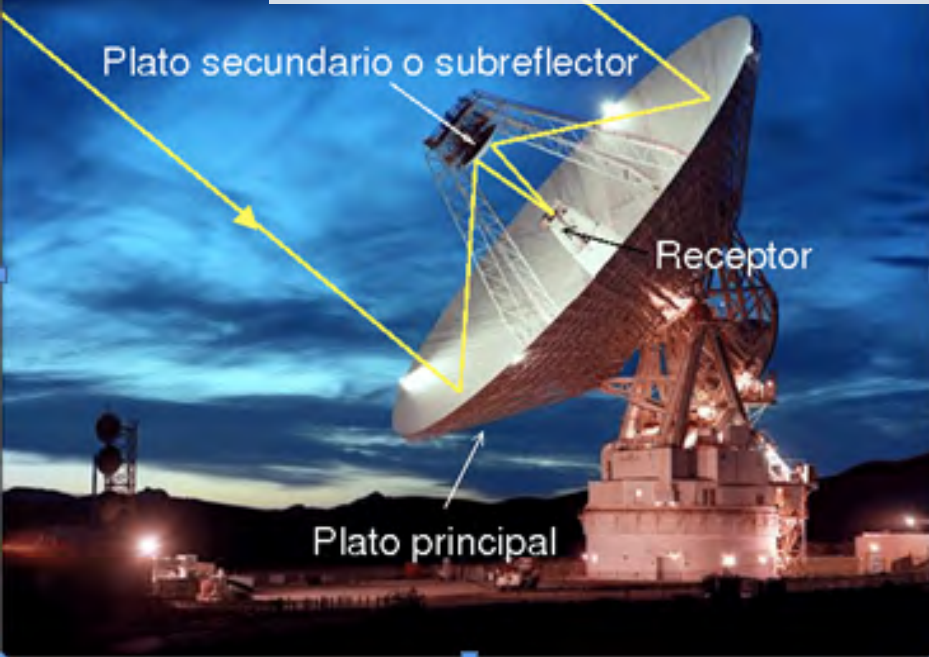
- desde cualquier punto del universo ya expandido, se debe observar esta radiación de fondo como proveniente de todas partes.



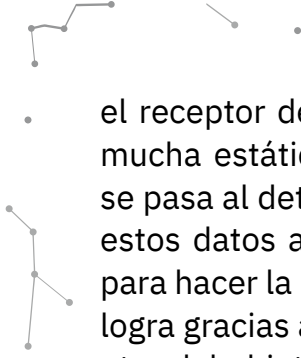
El ojo mágico del telescopio daba un gran salto en su ya de por sí gloriosa historia de evolución y de descubrimientos, ahora no sólo podía ver lo visible al ojo humano sino también lo invisible, el radio-telescopio acababa de nacer y su futuro era prometedor en el ámbito de la astronomía y de la ciencia en general. Ahora el ojo mágico no sólo veía más lejos sino que también ¡Podía ver lo invisible! Con este nuevo ojo mágico el universo estaba ya más al alcance del ser humano, más secretos del cosmos serían descubiertos, tal y como cuando Galileo se asomó por primera vez a su telescopio y pudo observar lo nunca antes visto por el hombre, ahora por primera vez nos podíamos asomar a un radiotelescopio y ver lo nunca antes siquiera imaginado.

Las radio ondas llegan de los objetos lejanos, por lo que su intensidad es muy débil, pues han recorrido un largo viaje a través del espacio, y ya que la intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia, las antenas de los radio telescopios deben ser tan grandes en diámetro y de muy alta eficiencia para lograr capturar la máxima cantidad de energía posible, y con la mayor nitidez. Y los radio-receptores acoplados a la antena deben ser de muy alta sensibilidad.

Fig. 31 El radiotelescopio.



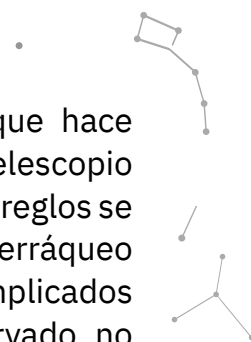
Un radiotelescopio se parece muy poco a un telescopio óptico, sin embargo la parte fundamental de su funcionamiento sigue siendo como la del telescopio óptico, es decir; tiene una superficie primaria, que en este caso es una antena de tipo parabólica, que se le llama comúnmente el plato y que colecta la mayor cantidad de radiación posible, la forma parabólica del plato dirige toda la radiación hacia un segundo espejo que a su vez la envía de regreso hacia un agujero en el centro del plato, por donde pasa el haz ya concentrado y finalmente llega al foco, donde se forma la imagen invisible al ojo humano, pero detectable a los instrumentos especiales que ahí se colocan para recibir y analizar la información que viene con las onda recolectadas, esta radiación ya se puede convertir en señales eléctricas, el receptor se encarga de sintonizar la señal, buscada. Tal y como lo hacemos en un aparato de radio para seleccionar la estación que deseamos escuchar, el astrónomo selecciona la longitud de onda que quiere observar, Luego el receptor amplifica la señal, la filtra y la convierte en datos útiles, sin embargo hará falta una cosa muy importante,



- el receptor debe estar sumamente frío, pues de lo contrario habrá mucha estática y no se podrá observar lo deseado, luego la señal se pasa al detector que mide la intensidad de la energía y le entrega estos datos a una computadora que guarda y usa esa información para hacer la imagen de lo invisible, esto es algo que la computadora logra gracias a que el telescopio va haciendo un barrido de un lado a otro del objeto observado, al que, en radioastronomía, más bien se le llama la fuente emisora o simplemente la fuente, con el barrido se obtienen detalles más finos de la fuente que de otra manera no se apreciarían, luego la computadora usa toda esta información y forma la imagen mágica de lo no visible.

Al decidir construir un radiotelescopio se debe escoger un lugar muy especial para hacerlo, pues es necesario instalarlo lejos de cualquier cosa que produzca radiofrecuencias, como estaciones de radio o televisión cuyas señales se puedan mezclar con las señales provenientes del cosmos, además se debe escoger un lugar que tenga una gran altura sobre el nivel del mar, para evitar que la radiación proveniente del cosmos tenga que atravesar una capa gruesa de atmósfera, y pierda nitidez en el camino. El sitio de un radio telescopio tiene que estar además mayormente seco, para evitar que la radiación tenga que atravesar capas de nubes o de vapor de humedad, y el radio telescopio debe tener una superficie colectora de radiación lo más grande posible, para así, recoger la mayor cantidad de la débil radiación que llega, literalmente, desde los confines más lejanos del Universo. Por lo que hay que construir enormes estructuras que soporten el peso de grandes platos y además lo puedan mover con la precisión necesaria para localizar, barrer y seguir el paso de las fuentes de radiación o los objetos a observar.

Otra forma de recibir y recolectar una mayor cantidad de radiación o de energía es hacer un arreglo tipo mosaico de muchas antenas



conectadas entre sí, para formar una sola imagen, lo que hace funcionar al arreglo como si se tratara de un solo radiotelescopio muy grande, tanto como el propio mosaico, más aún estos arreglos se pueden unir entre sí con otros arreglos alrededor del globo terráqueo para obtener así mejores observaciones, aunque estos complicados arreglos son capaces de obtener detalles finos de lo observado, no pueden detectar objetos muy débiles o muy lejanos, pero son muy útiles en la investigación.

Radiotelescopios y sus usos

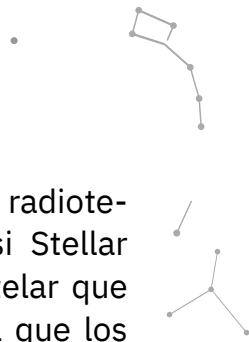
El radiotelescopio de Grote Reber era de apenas 10 metros de diámetro, hoy en día los hay típicamente de 90 metros, y hasta de 300 metros, pero con características diferentes por ejemplo: El radiotelescopio de 300 metros de diámetro que estaba en Arecibo, Puerto Rico desde 1963 fue el plato más grande del mundo, pero siendo tan grande no se movía para apunta a diferentes partes del cielo, pues se construyó aprobando una hondonada natural para poner ahí el gran plato, y sólo apuntaba al cielo y lo iba barriendo conforme la tierra rota, por lo tanto, lo que se puede observar es el cielo conforme va pasando por Arecibo a través de los días y las fechas. El foco o punto de observación de este gran plato estaba colgado de grandes torres y los astrónomos subían hasta ese punto donde tenían la cabina de observación. Unos años después se le adaptó un sistema secundario para mover la cabina hacia los lados para así aumentar un poco el campo de observación y apuntar un poco más a otros lugares. Este plato detectaba longitudes de onda de radio que son relativamente muy grandes, sin embargo con su superficie de casi 75,000 metros cuadrados puede recibía señales muy débiles o muy lejanas. Con este telescopio de Arecibo se han hecho varios descubrimientos científicos, Gordon H. Pettengill y su equipo lo usaron para determinar



- que el período de rotación de Mercurio no era de 88 días, como se creía, sino de sólo 59 días. El observatorio de Arecibo tomó una foto del asteroide 4769 Castalia. Ahí mismo un astrónomo polaco, Aleksander Wolszczacan descubrió el púlsar PSR B1257+12, que más tarde le condujo a descubrir sus dos planetas orbitales. Estos fueron los primeros planetas extra-solares descubiertos, de manera que una de las preguntas más recurrentes en la astronomía, que tiene que ver con demostrar la existencia de más planetas alrededor de soles, se aclaró finalmente gracias al radiotelescopio, un ojo que ve más allá de lo visible



El radiotelescopio “Mark I”, conocido como el Lovell en Jodrell Bank Inglaterra, fue por algún tiempo el más grande del mundo con plato móvil, tiene 76.2 metros de diámetro, se terminó en 1957; ahora es todavía el tercero en el mundo después de los radiotelescopios de Green Bank y Effelsberg, fue famoso porque además de usar en su mecanismo antiguas partes de navíos de guerra, se usó para seguir la trayectoria de los primeros satélites artificiales, lo que pudo hacer desde el famoso Sputnik soviético que fue el primer lanzamiento del hombre en 1957, el radiotelescopio Lovell era en ese tiempo, el único capaz de rastrear al satélite y posteriormente se usó en el rastreo de varios satélites más, en Febrero de 1966, Jodrell Bank rastreó la primera nave no tripulada que se posó en la Luna logrando captar las primeras imágenes que ésta envió a la Tierra y se publicaron en la prensa Británica aún antes de que los soviéticos lo pudieran hacer.



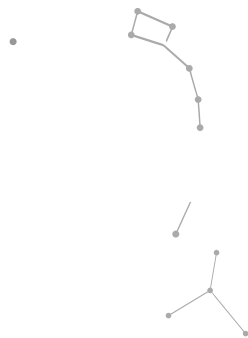
Lo nunca antes visto:

Entre los más significativos descubrimientos hechos con radiotelescopios están los cuasares. Palabra derivada de Quasi Stellar Object (objeto casi estelar) una nueva clase de objeto estelar que no se podría haber descubierto sin el radio telescopio, ya que los cuasares parecen estrellas muy débiles cuando se les ve con un telescopio óptico; pero al ser observadas con un radiotelescopio las cosas cambian drásticamente, pues se les detecta una emisión de energía en las longitudes de onda de radio que es tan grande como la de una galaxia completa, y son un buen ejemplo de lo mucho que no se nos oculta si sólo observamos en el rango visible del espectro electromagnético. Los cuasares además presentan un corrimiento de sus líneas espectrales hacia el rojo, que es tan grande que sólo puede ser explicado por el hecho de que se alejan muy rápidamente de nosotros, algunos de ellos con velocidades cercanas a la de la luz, y por lo tanto están en los confines más lejanos del universo a muchos miles de millones de años luz de la Tierra.





CA PÍ TU LO 7



DESCUBRIENDO LO MÁS LEJANO.

O eso creemos

Quasares (Quasi Stellar Radio Source o quasi Stellar objects)

La primera persona en identificar un quasar como tal, fue Maarten Schmidt, del Observatorio del Monte Palomar en California. Sucedió en 1963, cuando notó que una estrellita azul muy débil, observada con el telescopio óptico, estaba exactamente en la misma posición que una fuente muy intensa de radio ondas de tipo galáctico detectada con un radiotelescopio. Localizar la posición exacta de la fuente de radiación era, en ese entonces, un poco complicado por la falta de resolución y precisión de los radiotelescopios de la época, pero aún así logró determinarla con técnicas observacionales muy ingeniosas, entonces pensó que debía tratarse de la misma estrella azul que había observado en la posición de la fuente de radio, pero que por alguna razón su energía parecía ser mucho más fuerte en la longitud de onda de radio, y que en el visible se veía tan débil. Allan Sandage, por su parte, analizó el espectro tomado de la estrellita débil y para su sorpresa notó que no se podían identificar las líneas espectrales,

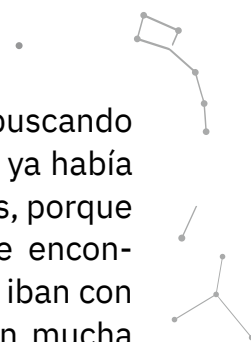


- ni asociarlas con los espectros de elementos conocidos; todos estuvieron algún tiempo intrigados tratando de explicarse por que ese espectro no correspondía a nada conocido, hasta que se dieron cuenta de que la realidad era que las líneas estaban tan corridas o desplazadas al rojo, por lo que no se reconocían y no parecían pertenecer a ningún elemento conocido, y en efecto, las líneas del espectro mostraban un corrimiento sumamente grande al rojo conocido como *redshift*, del orden del 16 por ciento, pero una vez identificado este gran corrimiento en el espectro, es decir desplazando las líneas espectrales de regreso hacia el azul, ya se podían identificar como líneas espectrales de elementos conocidos.



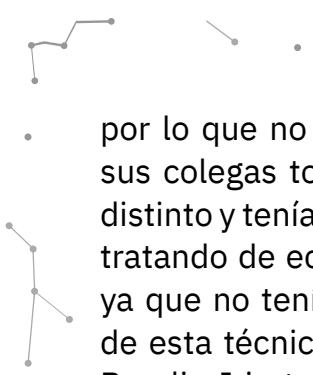
El corrimiento al rojo indica que el objeto se aleja a una velocidad muy grande, y la velocidad con la que se aleja está relacionada con la distancia a la que está el objeto, por lo tanto esa débil estrellita era lo más lejano nunca antes detectado, puesto que nunca antes se había visto un corrimiento al rojo tal que pareciera modificar el espectro y sus líneas. El otro asunto impactante era que dado que estaba tan lejos y dado que a pesar de su lejanía su energía, todavía se podía detectar, aunque fuera muy débilmente, esto sólo podía ser consecuencia de que aquella estrellita débil, en realidad emitía una enorme cantidad de energía, y que la energía emitida debía ser tanta que todavía podía llegar hasta a la Tierra en cantidad suficiente para poder ser detectada desde tan enorme distancia. Se calculó que para que eso pudiera suceder la luz emitida por este objeto tendría que ser mayor a la luz emitida por ¡toda una galaxia completa! por lo que la pequeña “estrellita azul” resultó ser muy enigmática, emitiendo enormes cantidades de luz y por lo tanto teniendo enorme masa.

Allan Sandage, nacido en Iowa en el seno de una familia muy religiosa, fue uno de los estudiantes genios más brillantes que llegó al Instituto Tecnológico de California, sus contribuciones a la astronomía son



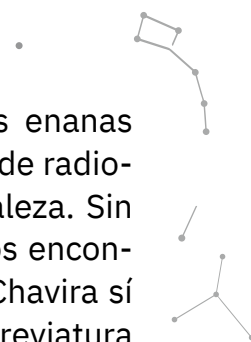
innumerables. pero con este asunto estaba desesperado buscando más de estos objetos, para 1962 sólo había dos y en el 63 ya había unos 4, entonces eran muy pocos, y necesitaba muchos más, porque esto era muy excitante ya que los radio astrónomos que encontraban estas fuentes, no sabían de qué se trataba entonces iban con los astrónomos ópticos, quienes tenían que buscarlas con mucha paciencia, hasta que aparecían en sus fotografías como un puntito muy débil, que era el mismo que estaba emitiendo esa gran cantidad de energía radiada. En un momento los astrónomos dejaron de creer que podía haber una conexión entre los objetos azules y los ya denominados quasares, pues notan que hay algunos que no emiten en radio a pesar de ser muy azules, mientras que otros sí lo hacen. Por eso

Mientras tanto en México, Guillermo Haro desarrolló una técnica muy particular e ingeniosa para detectar estrellas azules con una sola placa fotográfica, usando la Cámara de Schmidt de Tonantzintla. Ya antes había encontrado muchas de esas “estrellitas azules” y las tenía catalogadas. También preparó una lista de 8,746 objetos azules encontrados por el polo norte galáctico, donde nadie creía que se pudieran hallar, y la publicó conjuntamente con W. J. Luyten. Cuando surgió el desconcierto por las extrañas líneas espectrales que presentaban los quasares, Haro envió una lista de sólo once de sus estrellas azules a Allen Sandage para que las analizara, y el 70 por ciento de ellas resultaron ser quasares, luego Sandage se comunicó a México para preguntar cuántos objetos azules más tenía Haro observados, le contestaron que había catalogados más de seis mil. Encontrar y localizar estos objetos azules era muy complicado pero la técnica desarrollada por Haro permitía encontrarlos con mayor eficiencia. Lo que hacía Haro era tomar tres exposiciones en una misma placa, con su cámara de Schmidt usando diferentes filtros de color para cada exposición, La placa era revelada bajo las mismas condiciones



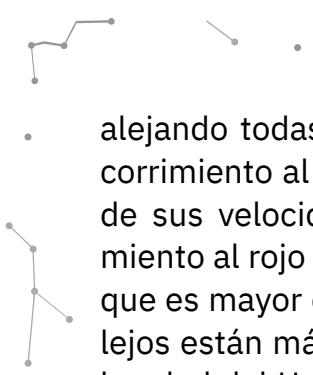
- por lo que no había ningún problema de calibración, mientras que sus colegas tomaban tres placas separadas cada una con un filtro distinto y tenían que estar comparando una con la otra y la otra, Haro, tratando de economizar, usaba la misma placa expuesta tres veces ya que no tenía dinero para comprar tantas placas, y su desarrollo de esta técnica súper eficiente le dio frutos. Haro, con sus colegas Braulio Iriarte y Enrique Chavira examinaron varias regiones en el cielo desde Tonantzintla, barriendo el cielo, buscando y encontrando estos objetos azules, esta técnica hizo conocer a Tonantzintla como la “fábrica de objetos azules”. Las bases de esta técnica las empleó Haro después, para muchísimos otros fines como el descubrimiento de estrellas ráfaga y estrellas variables.

En 1961 Haro recibió una invitación para observar en la cámara de Schmidt de 2.2 metros del observatorio de Monte Palomar, usando la técnica que él había desarrollado en México, luego de analizar su catálogo, tomar sus espectros y darse cuenta que estaban tan corridos al rojo que en consecuencia se están alejando rápidamente, 50 de sus objetos clasificados resultaron ser quasares también. Le preguntaron a Haro si tenía más de esas enigmáticas estrellitas azules descubiertas, y para sorpresa de todos Haro dijo que tenía “todas las que quisieran”. En realidad eran del orden de 7,000 por lo que Sandage calculó que podían ser suficientes para reunir la masa necesaria para que el universo colapsará en el futuro en un *Big Crunch*. Lo que tenía connotaciones cosmológicas impresionantes ya que implicaba que el Universo era cerrado. Sandage rápidamente escribió un artículo que mandó al *Astrophysical Journal*. El editor de la revista era el Premio Nobel Chandrasekhar, que admite el artículo. Sandage en su artículo dice que estos objetos que están reportando los mexicanos son mucho más numerosos que los que emiten radio y mucho más numerosos que las estrellas”. Aseveración demasiado arriesgada porque un análisis más detallado demostró que la mayoría



de los objetos azules de Haro eran en realidad estrellas enanas blancas azules lejanas de poca masa. Fue necesario el uso de radio-telescopios para observarlas y definir su verdadera naturaleza. Sin embargo y pese a esta triste historia muchos de los objetos encontrados del catálogo de Haro y sus colaboradores Iriarte y Chavira sí que eran cuasares que se clasificaron con las letras TON abreviatura de Tonantzintla, seguidas de un número de catálogo, aunque algunos de esos mismos cuasares pueden ostentar un número diferente en otras listas. Manuel Peimbert, miembro de El Colegio Nacional en México, y uno de los astrónomos mexicanos más famosos, estaba en 1965, como estudiante en Berkeley, refiere que Haro le reclamó porque no le había dicho lo que pasaba allá en Berkeley, refiere que Haro se quejó diciendo “nosotros descubrimos los objetos y otros se llevan la fama”. Peimbert le explicó que Sandage descubrió su equivocación y tuvo que presentar su renuncia. Haro ya más tranquilo, le dijo: “Bueno, Sandage se equivocó, esas cosas pasan” afortunadamente la renuncia de Sandage no fue aceptada y continuó investigando, aunque siempre lamentó este episodio. Por su parte, Guillermo Haro aseguró que si un día llegaba a ver un dinosaurio caminando por las calles del siglo XX, podía apostar que seguro habría más de ellos, sólo era cuestión de saber cómo buscarlos, esa filosofía lo llevó a encontrar muchos más objetos celestes.

Observar cuasares es como observar al pasado muy remoto ya que estando tan lejos, su luz y radiación ha tardado tanto y tanto tiempo en llegar a nosotros que los observamos tal y como eran cuando su luz salió de ellos en el pasado muy pero muy remoto, el telescopio es, por lo tanto, una máquina del tiempo que nos permite literalmente ver el pasado. El gran corrimiento al rojo se debe a la gran velocidad con la que los cuasares se alejan lo que provoca que la longitud de onda de la luz proveniente del cuasar se “estire” haciéndose más larga, este corrimiento sólo puede indicar que el universo se está expandiendo,

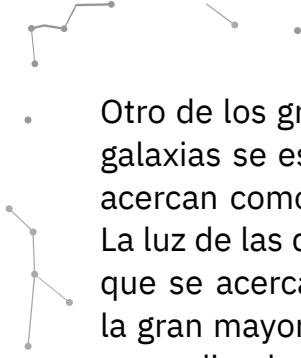


• alejando todas las galaxias entre sí, y por lo tanto la medición del corrimiento al rojo de todos los objetos y galaxias nos da la medida de sus velocidades de expansión. Edwig Hubble estudió el corrimiento al rojo con la intención de calcular la velocidad de expansión que es mayor entre más lejos están las galaxias, es decir, entre más lejos están más rápido se alejan. A partir de ahí; ¿se podría conocer la edad del Universo! ¡Sí! porque resulta que si el Universo tiene un movimiento de expansión y se conoce la velocidad de la expansión, entonces se pueden aplicar las ecuaciones ya conocidas de la cinética a este movimiento expansivo para predecir hasta cuándo y hasta dónde se va a expandir, pero también para calcular desde cuándo y desde dónde comenzó la expansión. Esto es como pasar la película del Universo en reversa y así poder conocer el origen mismo de la formación o si se quiere de la creación del Universo. Este tema, desató una vez más un conflicto filosófico y religioso, pues parecía que gracias a éste fenómeno, la ciencia estaba ya en posibilidades de conocer el momento de la creación, si es que hubo una creación, y además conocer el futuro del propio universo. El conflicto filosófico, es similar al que se desató cuando Newton presentó sus ecuaciones de la mecánica clásica, con las que en principio, se podía determinar el futuro y el pasado de cada partícula, con sólo conocer su estado actual de posición y velocidad, y aplicar las ecuaciones de la mecánica hacia atrás o hacia adelante en el tiempo. El conflicto con la religión fue grande ya que implicaba que todo estaba ya escrito o determinado y en consecuencia se negaba el libre albedrío otorgado por Dios al hombre. Sin embargo, como ya hemos visto, aún si se pudiera efectuar el número extremadamente enorme de cálculos para cada partícula, la naturaleza tenía reservadas sorpresas importantes, ya que años después, el principio de incertidumbre de Heisenberg demostró que no se puede conocer el estado actual de cada partículas, pues por el sólo hecho de intentar medirlas ya se le les está alterando. Ahora con el conocimiento de la velocidad de alejamiento

de las galaxias, tanto el futuro como el pasado del Universo podría ser determinados, desatando nuevamente la controversia de la creación y el final del cosmos, sin embargo la naturaleza tiene todavía nuevas sorpresas que desvelar y el telescopio juega el papel más importante en la búsqueda de estos nuevos misterios.

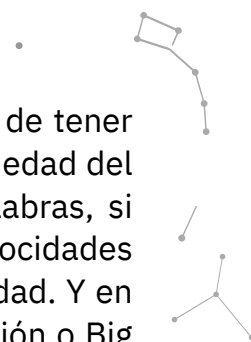
La edad del Universo (lo verdaderamente viejo)

El camino para llegar a esta espectacular consideración comienza con la observación de unos objetos que a primera vista parecen nubes, pero que al final resultaron ser una colección de más de 100 mil millones de estrellas. Alrededor de 1900 sólo sabíamos que esos objetos llamados nebulosas estaban por ahí entre las estrellas, pero de las nebulosas no teníamos ni idea. No sabíamos a qué distancia podían estar, si estaban dentro de la galaxia aquí muy cerca, o fuera de la galaxia por lo que había que descubrir de qué se trataba. Entonces llegan Hubble con Alan Sandage su heredero directo quienes eran de las pocas personas que, en esos momentos, podía usar el telescopio más grande del mundo en el Observatorio del monte palomar, y que inauguran la cosmología observacional. Hubble busca una forma de investigar cuáles son las distancias en la astronomía, lo que abrió un campo de investigación que ha llegado hasta nuestros días; y nota que hay unas estrellas variables, que cuando varían con un periodo muy largo se trata de un objeto muy grande y si el periodo muy corto, es un objeto pequeño. Similar a como el corazón de un adulto late más lento que el corazón de un bebé, simplemente por sus dimensiones físicas. Con este fenómeno Hubble resolvió el problema, buscando estrellas variables cefeidas y con eso pudo saber que las nebulosas espirales están en realidad fuera de nuestra galaxia.

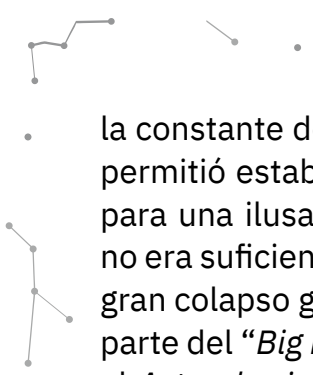


- Otro de los grandes eventos de la cosmología fue descubrir que las galaxias se están alejando de nosotros aunque algunas de ellas se acercan como lo es el caso la Galaxia Andrómeda, nuestra vecina. La luz de las que se alejan presenta un corrimiento al rojo y la de las que se acercan un corrimiento al azul, por el efecto doppler, pero la gran mayoría se aleja lo que quiere decir que el Universo se está expandiendo.

El que el universo se esté expandiendo no significa exactamente que las galaxias se alejen más veloces o más lentas, más bien es una consecuencia de la propia expansión del espacio, la expansión no es un agrandamiento, es un cambio de escala, es decir, el aumento del espacio entre las galaxias. Sucede que se está creando espacio entre ellas, y ahora vemos la tasa a la que se está expandiendo. Es similar pero al efecto del sonido de una ambulancia que escuchamos que se acerca con un tono y cambia el tono cuando se aleja. Al conocer la tasa de la expansión empieza la cosmología, lo que Hubble encontró, es una proporción directa entre la velocidad de alejamiento llamada de recesión y la distancia. La velocidad de recesión resulta ser proporcional a la distancia, y como sabemos que la velocidad es igual a distancia dividida por tiempo, entonces conociendo la distancia por el método de la variación de las cefeidas, y conociendo la velocidad de recesión por el efecto de corrimiento al rojo, se puede calcular el tiempo en el que todo empezó, es decir cuando comenzó a expandirse, la relación se convierte en una ecuación cuando se introduce un término de proporcionalidad, y este cálculo nos arroja la edad del universo. Para no escribir fórmulas o ecuaciones que precisan mejor las cosas pero que espantan a casi todo mundo, tenemos que entender que el término de proporcionalidad es la proporción que Hubble encontró que se define con una constante de razón de cambio, se llama constante de Hubble y se denota como “h.” Si la velocidad es proporcional a la distancia, y velocidad



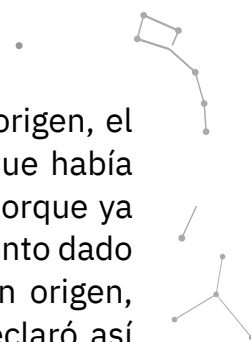
es igual a distancia sobre tiempo. Entonces esta “h” debe de tener unidades de uno sobre el tiempo, y con esto obtenemos la edad del universo expresada en unidades de tiempo. En otras palabras, si nosotros sabemos cómo está el Universo ahora y a qué velocidades se está expandiendo, podemos, en principio, calcular su edad. Y en consecuencia cuándo empezó la expansión, la gran explosión o Big Bang. Así que el radiotelescopio se empezó a anotar triunfos científicos rápidamente, al ser capaz de arrancar nuevos y fascinantes misterios del pasado cósmico. El cálculo original de Hubble para la velocidad de recesión arrojó un universo de mil ochocientos millones de años, lo que era consistente con la geología, más tarde hizo un primer cálculo la edad de los cúmulos estelares, y, su resultado se adecuaba a la edad del Universo calculada por primera vez pero... Hubble se había equivocado la primera vez que hizo sus cálculos, porque en sus observaciones confundió nubes gaseosas con estrellas, lo que lo llevó luego a corregir la velocidad de recesión, por lo que junto con Sandage, estableció esta velocidad de recesión en 75 kilómetros por segundo por megaparsec, lo que quiere decir que una galaxia o cualquier objeto que esté a una distancia de un megaparsec se aleja a una velocidad de 75 kilómetros por segundo, o si se quiere a 270 mil kilómetros por hora si está a 3.3 millones de años luz, este nuevo cálculo implicaba que la edad del universo era del orden de entre 15 mil a 20 mil millones de años. En 1975 Sandage después de hacer más y más observaciones y cálculos, sugiere que la velocidad de recesión ya para entonces conocida como la constante de Hubble debía ser de 50 kilómetros por segundo por megaparsec (km/sec/Mpc) lo que implicaba una edad del universo mucho mayor de 20 mil millones de años. Esta cifra era adecuada y consistente con la edad de las galaxias y los cúmulos estelares que el mismo Sandage ya había calculado, su sugerencia comenzó una controversia porque Sandage insistía en que el valor de 50 era el correcto mientras que la comunidad astronómica aceptaba el valor de 75 como el bueno para



la constante de Hubble, pero una conclusión notable de esto es que permitió establecer que el universo no se estaba deteniendo y que, para una ilusa alegría de muchos, la masa gravitacional del mismo no era suficiente para revertir la expansión en el futuro y llevarlo a un gran colapso gravitacional conocido como el “*Big Crunch*” en contraparte del “*Big Bang*”. Por lo que Allen Sandage escribió un artículo en el *Astrophysical Journal* en el que decía que: el universo era único, sólo había ocurrido una vez, que estaba en expansión y esa expansión no se detendría jamás, y en consecuencia estaba condenado a una muerte oscura y fría con todas las galaxias llenas de estrellas muertas y alejadas unas de otras hasta la eternidad, y sin importar lo que uno pueda desear o sentir ese sería el triste destino final del universo. Las investigaciones y observaciones más recientes indican que éste es posiblemente el escenario correcto.

Lo que calculó Hubble usando esta proporcionalidad fue que la edad del universo, era de unos 14 mil millones de años, un valor simple, pero un procedimiento genial, todo gracias al telescopio y al genio del hombre. Es raro que Hubble no haya ganado un Premio Nobel por esto, aunque tampoco a Einstein le dieron el Premio Nobel por descubrir el lenguaje matemático con el que se iban a comprender todas estas observaciones, sino que recibió el premio por su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico, tal vez lo increíblemente emocionante de las investigaciones de Hubble y de Einstein provocaron tal temor en la Academia Sueca, que prefirieron reservar la entrega del premio para cuando todo esto fuera más entendible o al menos más comprobable.

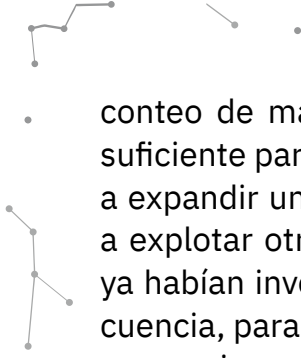
Los resultados eran por supuesto muy controversiales y no se tomaban muy en serio. Se llegó a decir que los cosmólogos estaban muy equivocados, se desataron intensos debates entre que si el universo había existido siempre y por siempre o si tenía un origen.



Cuando la tendencia era en el sentido de que sí tenía un origen, el Papa se complacía, si por el contrario la conclusión era que había existido desde siempre pues eso ya no le gustaba tanto, porque ya no quedaba un lugar para un a un Dios creador. En un momento dado cuando se llegó a concluir que el universo sí que tuvo un origen, Juan Pablo II se apresuró a aliarse con la ciencia y lo declaró así oficialmente.

Einstein creía que el universo era inmutable, lo podía expresar con sus ecuaciones en las que el espacio y el tiempos se conjugan y se convierte en un “espacio tiempo”, esto implica que para decir: dónde estamos, tenemos que decir en qué lugar y a qué hora estamos, siempre tenemos que dar las coordenadas: de espacio y de tiempo. Lo que Einstein dijo: “si cada quien anda con su reloj, a su hora nadie se encuentra y por lo tanto de alguna forma tenemos que sincronizarlos”. Toda coordenada necesita tener un origen, y si el universo tiene origen no tiene sentido hablar de lo que había antes, porque antes del origen, ni el mismo tiempo no existía.

Hablar de la cosmología observacional estaba reservado para un grupo muy pequeño de personas. Era en un principio, parecido a lo poco que se hablaba de las ideas de Copérnico en su tiempo. Einstein predice que si hay suficiente masa se puede cerrar el universo, es decir, que este universo aunque se expanda va a llegar algún momento en el que a causa de su masa gravitacional se va a detener y va regresar a colapsar a su origen, tal y como una pelota que lanzamos hacia arriba, eventualmente se detiene y regresa y vuelve a caer, debido a la atracción gravitacional de la Tierra sobre la pelota. A este sistema lo llamamos entonces un sistema cerrado, y en el caso de todo el universo, se llama universo cerrado. Este modelo por un momento fue bastante amable, entendible y aceptable, y se interpretó mejor cuando las observaciones de Haro y el

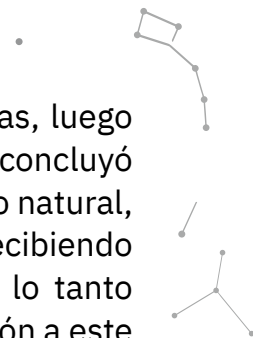


- conteo de masa de Sandage parecían demostrar que había masa suficiente para cerrar el universo. Es decir que el universo que se iba a expandir un rato y luego colapsaría, luego puede ser que volviera a explotar otra vez; entonces será un universo cíclico. Los hindúes ya habían inventado ese concepto de la reencarnación, y en consecuencia, para ellos cada vez que el universo se re-colapsaba y volvía a resurgir perdíamos todo lo ya aprendido y ya no sabíamos nada, no había memoria, si esto fuera así todos los átomos que forman nuestros cuerpos no volverían a estar ahí, no sabremos si ya existimos antes o no, y ni siquiera tendremos idea de lo que pasó antes si es que algo paso. Curiosamente a hora se piensa que todo lo que cae a un hoyo negro tiene información cuántica que se pierde para siempre al caer en esa singularidad.

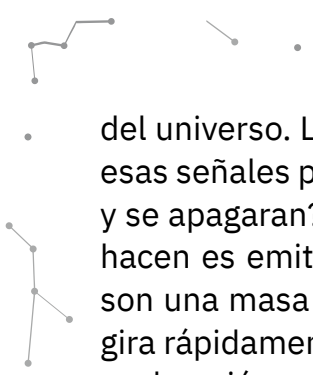
Púlsares

Las señales de los púlsares sólo se pueden detectar con un radio-telescopio, de no haberse desarrollado el radio telescopio nunca se habría sabido de su existencia. De manera que este descubrimiento es exclusivo del ojo mágico que ve lo invisible.

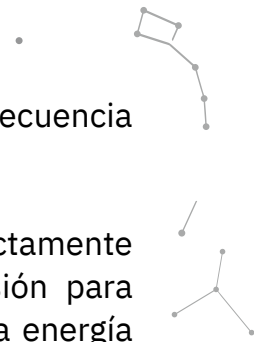
En el año de 1967 Jocelyn Bell, una astrónoma muy dedicada en su etapa de estudiante de doctorado junto con su asesor Anthony Hewish detectaron la primera señal de un púlsar, era una señal de radio de corta duración con periodo muy regular, pues se repetía cada 1.33 segundos, lo primero que se les ocurrió fue que podrían haber establecido contacto con una civilización extraterrestre e inteligente que trataba de enviar una señal muy precisa a manera de saludo, y llamaron a su fuente LGM por las siglas en inglés de *Little Green Men* (hombrecitos verdes) por lo pronto continuaron su búsqueda de más de estos LGM y pronto descubrieron tres nuevas fuentes que



emitían en radio a diferentes frecuencias pero muy precisas, luego encontraron muchas más por varios lados y pronto Jocelyn concluyó que estos objetos tenían que ser causados por un fenómeno natural, y no por hombrecitos verdes, pues de lo contrario, estaba recibiendo muchas señales de hombrecitos verdes por doquier. Por lo tanto había que buscar una buena razón física que diera explicación a este fenómeno. Al poco tiempo se dedujo que se trataba de estrellas excepcionalmente pequeñas y densas que además rotaban a velocidades muy altas la explicación de todo esto es que una estrella cuando va muriendo ha convertido mucha de su masa en energía y en consecuencia comienza a contraerse hacia sí misma, lo que se llama colapsar, mientras se colapsa, toda su materia se aplasta en un espacio más pequeño con lo que se vuelve cada vez más pequeña y más densa. La mayor parte de la materia de la estrella se mueve hacia su centro, y esto provoca que la estrella gire cada vez más rápido, tal y como una patinadora artística aprovechando la ley de la conservación del momento angular recoge sus brazos hacia sí misma para aumentar la velocidad de rotación de su propio cuerpo, el enorme colapso de la estrella explica la rotación increíblemente rápida. Las estrellas así colapsadas con rotaciones tan rápidas son los vestigios de estrellas, novas o supernovas, que al explotar o dejar de existir expulsan mucha de su materia gaseosa al espacio, pero dejan en su centro la materia remanente que consistente en neutrones. Por lo que se dejaron de llamar LGM y se llamaron estrellas de neutrones, posteriormente y debido a los pulsos de radio que emiten con tanta precisión, se les terminó llamando púlsares lo que es un acrónimo de “*pulsating radio source*”, (fuente de radio pulsante). Estos púlsares pueden llegar a tener un campo gravitacional millones de veces más fuerte que el de nuestro Sol aún siendo más pequeños que la Tierra, dado que los púlsares están en el centro de los residuos de las supernovas, pueden ayudarnos a comprender qué sucede cuando las estrellas colapsan y así entender el nacimiento y la evolución



del universo. La siguiente pregunta es: ¿por qué los púlsares emiten esas señales pulsantes de radio tan precisas como si se encendieran y se apagaran? En realidad, no se encienden ni se apagan, lo que en hacen es emitir una corriente de energía constante, pero dado que son una masa de partículas nucleares cargadas eléctricamente que gira rápidamente, y dado que el movimiento rotatorio constituye una aceleración centrípeta de las cargas, esto produce un campo electromagnético de acuerdo a la ley de Faraday, lo que se traduce en una chorro de partículas aceleradas por el campo magnético que el pulsar expulsa a la velocidad de la luz por sus polos magnéticos. La rápida rotación de las cargas, por tanto es capaz de provocar poderosos generadores eléctricos que pueden llegar a convertir energías de miles de millones de millones de volts. El campo magnético muy intenso así generado, se concentra en un espacio reducido y lo hace emitir un haz de radiaciones que, detectamos como ondas de radio a través de radiotelescopios. El eje magnético del púlsar o estrella de neutrones no está necesariamente, alineado con el eje de rotación sino que presenta un ángulo que puede ser desde muy pequeño hasta bastante sustancial, tal y como en la Tierra el norte magnético y el eje de rotación no están alineados, sino levemente desplazados. Al girar el pulsar, el chorro de energía radiante en forma de rayo que sale del polo magnético oscila o bambolea como lo hace el eje de un trompo cuando va perdiendo rotación, por lo tanto el rayo que sale de este eje bamboleante recorre el espacio bamboleando también, como si fuera el haz de luz de un faro marino, cuando ese rayo apunta directamente hacia la Tierra podemos detectarlo y cuando rota hacia otra dirección parece apagarse, así es como se detecta el pulso correspondiente con el radiotelescopio, por lo tanto la frecuencia con la que detectamos ese pulso está relacionada con la velocidad de rotación del pulsar. Los púlsares también emiten luz visible pero dado que son tan pequeños y lejanos que no vemos la parte visible de su emisión y sólo con el ojo mágico de los radiotelescopios se



pueden detectar las intensas energías de radio de alta frecuencia que emiten.

Por algún motivo, el período de cada púlsar no es exactamente constante. Se requieren relojes de extraordinaria precisión para detectar cambios de ritmo, lo que podemos detectar es la energía de rotación de la estrella de neutrones o púlsar, que es la fuente de la radiación electromagnética. A medida que el púlsar emite esta radiación electromagnética, va perdiendo energía de rotación y se desacelera lentamente, esto de acuerdo con la ley de la conservación de la energía, ya que la energía radiada se toma de la energía cinética de la rotación, al igual que un trompo de juguete cuando va perdiendo vuelo, el pulsar se va deteniendo muy lentamente. Como las partículas cargadas son las responsables del haz de radiación ya sea en radio, luz, rayos-X, o rayos gamma, y dado que su energía proviene de la rotación del pulsar, al ir disminuyendo la velocidad de rotación se puede detectar como un retardo en el período de los pulsos. Al medir el cambio en sus períodos de rotación a través del paso del tiempo, podemos deducir exactamente a qué ritmo desacelera, cuánta energía pierde en el proceso e incluso cuánto tiempo seguirá rotando, hasta que gire tan lentamente que ya no emitirá más. Un pulsar típico puede emitir durante unos cuatro millones de años; antes de agotar su energía luego ya no producirá pulsos detectables. Si conocemos el tiempo de su duración, podemos deducir que un nuevo pulsar nace cada cuatro años. Si todos los pulsares fueran producto de explosiones de supernovas, podríamos decir que debería haber una supernova en nuestra Galaxia cada cuatro años, pero esto no ha pasado desde hace muchos años así que todavía tenemos que observar y calcular mejor. Una de las más recientes observaciones del surgimiento de una supernova sucedió el 24 de febrero de 1987 cuando Ian Shelton de la universidad de Toronto se encontraba en el Observatorio de Las Campanas en Chile, realizando



- un estudio fotográfico de la Gran Nube de Magallanes. Al revelar una placa fotográfica tomada durante la noche del 24 de febrero, notó la aparición de una estrella nueva. El descubrimiento fue confirmado casi inmediatamente por astrónomos del Observatorio Cerro Tololo.



Una noche después del descubrimiento, al estudiarse los primeros espectros se pudo confirmar que efectivamente se trataba de una supernova; ya que las líneas de su espectro presentaban el perfil característico de las supernovas que permite inferir la existencia de un cascarón de gas que las circunda y que está en veloz expansión a 16,000 Kilómetros por segundo. Esta supernova fue la primera descubierta en el año de 1987 por lo que se catalogó como supernova 1987 A ó SN 1987A.

Con respecto a la posición de SN1987A, se encontró que ésta coincidía con la de una estrella súper gigante azul, perteneciente a la Gran Nube de Magallanes, candidata a ser la progenitora de SN 1987A. La supernova se encuentra en la Nube de Magallanes que está aproximadamente a 160,000 años luz de la Tierra, o sea que lo observado ocurrió hace 160,000 años y es la muerte de esa estrella. La Gran Nube de Magallanes se encuentra en términos astronómicos muy cerca de nuestra galaxia por lo que podemos considerar a la supernova 1987A como si estuviera en nuestra propia galaxia. Otras supernovas ocurridas en nuestra galaxia de las que tenemos evidencia son la supernova de la constelación de Casiopea, ocurrida alrededor de 1680, la de Kepler en 1604 y la famosa supernova observada por los chinos en la nebulosa del Cangrejo en el año de 1054.

Los púlsares son diferentes, cada uno, tiene su propia firma o huella digital, hay unos excesivamente brillantes, otros con terremotos estelares que de repente giran por momentos, otros más son binarios es decir que tienen estrellas compañeras en órbita común y los

más espectaculares que increíblemente giran hasta mil veces por segundo. Cada vez que el radiotelescopio los observa se logra un nuevo descubrimiento que aporta datos nuevos que los científicos utilizan para entender mejor el universo.

Ya se conocen más de 600 púlsares, pero hay que considerar que los haces de faro de muchos púlsares no barren en nuestra dirección por lo que su número debería alcanzar al menos 200.000 púlsares solamente en nuestra Galaxia, se han encontrado principalmente en la Vía Láctea, con periodos de rotación que van desde un milisegundo hasta unos pocos segundos, los púlsares débiles sólo pueden ser detectados si están cercanos. Sus distancias pueden medirse a partir de un retardo en los tiempos de llegada de los pulsos observados en las radio frecuencias bajas; el retardo depende de la densidad de los electrones en el gas interestelar, y de la distancia recorrida. La precisión con que se miden los periodos es de una parte en 100 millones. El más famoso de todos es quizás el de la Nebulosa del Cangrejo denominado PSR0531+121, con una densidad tan grande que, una esfera de su materia de apenas medio milímetro de diámetro, más o menos como la punta de un lapicero, llega a tener una masa de 100 mil toneladas, se encuentra en el propio centro de la nebulosa y tiene un periodo de 0,033 segundos. Está exactamente en el mismo punto en el que los astrónomos chinos registraron una brillante supernova en el año 1054, lo que permite establecer que es efectivamente la estrella de neutrones remanente de esa supernova. Sólo al Pulsar del Cangrejo, y al de la Vela, se les ha detectado emisión de pulsos visibles. Se sabe que estos dos púlsares emiten pulsos de rayos gamma, el del Cangrejo que se constan de un sistema binario compuesto de un púlsar y una estrella de tipo espectral "O" ó "B" de la secuencia principal o diagrama Hertzsprung-Russel, que se usa para clasificar a las estrellas también emite pulsos de rayos-X l con el que se clasifican las estrellas, esta estrella también emite viento



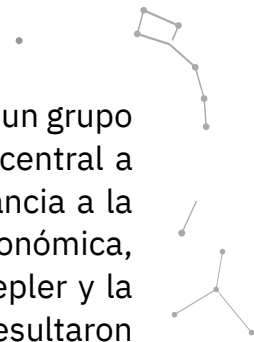
- estelar y radiación de su superficie, pero el pulsar que está cerca atrapa estas emisiones con su inmenso campo y la convierte en rayos X. Un ejemplo de este fenómeno es el pulsar Cen X-3 en la constelación del Centauro. Recientemente se han encontrado pulsares en cúmulos globulares. Se piensa que han sido formados allí por la acreción de materia en estrellas enanas blancas de sistemas binarios.



Hewish recibió en 1974 el Premio Nobel de Física por el descubrimiento y explicación teórica de los pulsares, a Jocelyn Bell, tristemente, no se le concedió la condecoración porque sólo era una estudiante de doctorado, aunque fue ella quien advirtió la primera señal de radio, pero en realidad es a esta brillante mujer a quien se le reconoce en la comunidad científica como la descubridora de los púlsares.

Exo planetas y planetas orbitando pulsares

Uno de los mayores retos en la astronomía ha sido la detección de otros planetas alrededor de otros Soles, tal y como la Tierra orbita nuestro Sol hay planetas orbitando a otras estrellas, el detectar a estos planetas llamados extrasolares, o exoplanetas es el primer paso en la búsqueda de vida y civilizaciones extraterrestres. En la actualidad existen diversas técnicas para detectarlos, una de ellas es usando el radiotelescopio, el primer grupo de planetas extrasolares descubiertos que orbitan un púlsar, fue el PSR B1257+12, se logró descubrir que tenía planetas orbitando porque su periodo es del orden de los milisegundos y las pequeñas variaciones de su periodo de emisión en el radio sirvieron para detectar una muy leve oscilación periódica del pulsar con una amplitud máxima en su entorno de 0,7 m/s. Los radio astrónomos Aleksander Wolszczan y Dale A. Frail que lo observaban con el radio telescopio de Arecibo en Puerto



Rico interpretaron estas observaciones como causadas por un grupo de planetas en órbitas casi circulares alejados del púlsar central a distancias comprendidas entre dos y cuatro veces la distancia a la que la Tierra está del Sol lo que se conoce como unidad astronómica, de las variaciones observadas, y aplicando las leyes de Kepler y la gravitación universal se pueden calcular sus masas que resultaron ser de entre dos y cuatro veces la masa de la Tierra. El descubrimiento fue inesperado, y causó un gran impacto pero demostró una vez más como cada día se puede conocer más del cosmos con la ayuda del telescopio, se puede suponer que los planetas orbitando alrededor de púlsares no tienen las condiciones necesarias para la vida, ya que orbitan a una estrella en una fase evolutiva tardía, y no a un sol propiamente dicho que le pudiera asegurar condiciones estables para la vida, sin embargo, a partir del descubrimiento de Wolszczan y Frail se usa esta técnica para buscar otros planetas que eventualmente puedan albergar vida la civilización extraterrestre.

La existencia de otros planetas como la Tierra en el universo fue solamente una especulación filosófica durante siglos, ya que se suponía que debían existir pero no se habían detectado. La primera detección confirmada de un exoplanetas orbitando una estrella se concretó en 1995; un planeta gigante del tipo de Júpiter fue encontrado girando alrededor de la estrella 51 Pegaso, esta estrella pertenece a la secuencia principal, su periodo era de apenas cuatro días. Las técnicas para detectar planetas se han refinado mucho desde entonces, al punto que ya se ha podido obtener imágenes directas con telescopios de algunos exoplanetas, pero la mayoría de ellos se detectan a través de métodos indirectos complicados, ya que la propia luz de la estrella alrededor de la cual giran no permite verlos, y por eso entre otras técnicas el radiotelescopio es un buen instrumento para detectarlos, es un sentir generalizado que los exoplanetas deben ser comunes en toda la galaxia y en todas las galaxias.



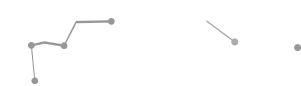
- La mayoría de los exoplanetas descubiertos son planetas gigantes del tipo de Júpiter o mayores, pero esto sólo se debe a que dada su gran masa son más fáciles de detectar. Algunos exoplanetas ligeros con masas de hasta unas 10 veces la de la Tierra se conocen y se les llama súper tierras y parece ser que hay muchos de este tipo, aunque los descubrimientos más recientes incluyen exoplanetas con masas similares a la de la Tierra. Hay también planetas orbitando estrellas enanas cafés y otros más que andan libres por el espacio sin orbitar ninguna estrella, el término planeta no se les aplica a estos cuerpos errantes, aunque desde el punto de vista semántico, son ellos los que merecen ser llamados así ya que el término planeta significa exactamente vagabundo o errante, recordemos que los griegos les llamaron así porque ellos observaban los planetas en el Sistema Solar y les parecían que vagaban por el cielo sin seguir ningún patrón explicable en esa época, y por eso les llamaron vagabundos o (Planetez $\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\eta\varsigma$) que en griego quiere decir errante. Estos objetos errantes pueden ser el resultado de la muerte de su estrella madre que al explotar los arrojó al espacio a vagar para siempre, y podría ser el destino de los planetas del Sistema Solar cuando el Sol muera.

El verdadero interés está en encontrar planetas del tamaño de la Tierra que además orbiten a su estrella madre a una distancia tal que su temperatura sea apta para la vida, a esa distancia ideal se le llama zona de confort, y depende de la temperatura de la estrella madre, el planeta debe estar orbitando a una distancia tal que el calor de su sol lo pueda mantener a una temperatura en la que pueda existir el agua en estado líquido, esto implica también otras condiciones precisas de gravedad para retener una atmósfera en el planeta, lo que tiene que ver con la masa de la estrella y del planeta y varios parámetros más concernientes a las condiciones ideales para la vida, que sólo se dan en la llamada zona de confort o zona habitable.

Para finales de 2013 ya se habían detectado del orden de 1,070 exoplanetas usando diferentes técnicas, y en noviembre de 2021 ya son 4,868 y contando, algunos de ellos son sistemas múltiples tal como nuestro propio Sistema Solar. Más aún, existe un telescopio en el espacio llevando a cabo una misión llamada Kepler que se dedica a la búsqueda de exoplanetas y que ya ha encontrado como 18,000 candidatos, En Enero de 2013 los astrónomos de la misión Kepler anunciaron el descubrimiento de KOI-172.0, un exoplaneta parecido a la Tierra orbitando una estrella similar al Sol y a una distancia que lo ubica en la zona de confort y en su catálogo ya se incluyen 262 que pueden estar potencialmente habitados.

El cíclope ya tiene 2 ojos mágicos y detecta planetas externos

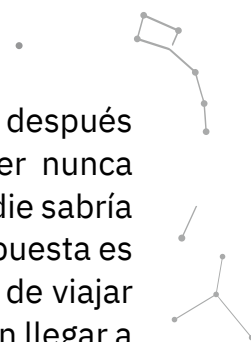
Pero no sólo eso en la cima del Monte Graham, en Arizona, está un telescopio que no es solamente un ojo mágico, sino dos ojos mágicos, este telescopio es binocular, se llama LBT por las siglas en inglés de *Large Binocular Telescope* (Gran Telescopio Binocular) y puede que sea el telescopio más poderoso del mundo con sus dos enormes espejos de 8.4 metros de diámetro, cada uno, logra una sensibilidad correspondiente a un espejo sencillo de 11.8 metros, pero su resolución es como la de un telescopio que tuviera 22,8 metros. Su desempeño se puede entender fácilmente si tomamos nuestros mismos que usamos para ver el juego de pelota y cerramos un ojo, luego abrimos el otro y vemos la gran diferencia, entre un sistema monocular y el otro binocular. Este gran monstruo ya no es un cíclope, sino un telescopio con dos ojos mágicos, lo que lo hace más mágico que ningún otro, y cada uno de sus enormes ojos es mayor que cualquier otro con espejo sencillo en el mundo, el LBT puede observar en el visible y en el infrarrojo, y tiene un diseño único



- que afronta el gran reto de observar los exoplanetas con una técnica llamada “*nulling*” que le permite suprimir la luz de la estrella madre, mientras que resalta la luz del planeta o del sistema planetario orbitándola. También puede rastrear la formación estelar y son muy grandes las expectativas de que pueda ayudar a encontrar indicios de vida extraterrestre, así como el origen de la increíble luminosidad de los cuasares y las fuentes de radio emisión. Este nuevo concepto de telescopio binocular con dos ojos mágicos representa una revolución en la observación astronómica basada en la superficie de la tierra, y es un gran avance en el ya de por sí impresionante conjunto de conocimientos obtenidos a través de los telescopios.

Se puede esperar que tan sólo en la Vía Láctea existan miles de millones de planetas, si se considera un sólo planeta por cada estrella. El más cercano ya descubierto está alrededor del grupo de estrellas pertenecientes al grupo de Alpha Centauri y orbita a Alpha Centauri Bb. Y el resto de los detectados están mucho más alejados esto ni por mucho quiere decir que ya se puede uno imaginar contactando a otros seres, pues este planeta, a pesar de ser el más cercano, está a la enorme distancia de 4 años luz o 36 billones de kilómetros y aún viajando a la velocidad de nuestras mejores naves una tripulación tardaría 71 mil años en llegar ahí, teniendo combustible y alimento ilimitado, esquivando meteoritos y procreando hijos condenados a pasar todas sus vidas presos dentro de la nave para continuar con la travesía. Después de muchas generaciones podrían llegar, si es que sobreviven a las condiciones de ingravidez y auto contaminación de la nave y si la procreación de las generaciones logrará subsistir.

¿Hay esperanza de hacer un viaje así? La respuesta tiene que ser que sí, porque el ingenio y la tecnología nunca se detienen, existen muchas propuestas para lograrlo, como la de establecer una colonia auto sustentablemente viajando en el espacio, reciclando todo,



procreando y conservando generaciones de astronautas que después de muchas generaciones llegarían a su destino, sin poder nunca escribir a casa para avisar que llegaron bien, en la Tierra nadie sabría de su destino hasta después de muchísimos años. Otra propuesta es viajar a través de agujeros de gusano, otra es la posibilidad de viajar tan rápido que el tiempo pueda dilatarse relativamente y aún llegar a detenerse, y hasta a retroceder, lo que provocaría una serie de paradojas ya exploradas por la ciencia ficción como el hecho de poder regresar del viaje en un tiempo anterior a que este hubiera zarpado e impedir que se realizara, o poder modificar el futuro, etc.

Pero la propuesta más interesante es la del físico mexicano Miguel Alcubierre quien comenzó reconociendo que de acuerdo con la teoría especial de la relatividad hay dos razones fundamentales por las que nada que tenga masa puede viajar más rápido que la luz, de hecho ni siquiera alcanzarla: La primera es que la masa de un objeto aumenta rápidamente a medida que su velocidad se aproxima a la de la luz, es como si una persona se volviera cada vez más gorda a medida que va más rápido, entonces haría falta una energía infinita para que el objeto continuara acelerando hasta alcanzar la velocidad de la luz. La segunda razón es que un objeto que pudiera viajar más rápido que la velocidad de la luz retrocedería en el tiempo desde el punto de vista de todo lo demás que no viaja a la velocidad de la luz, y esto incluye a la Tierra y todos los familiares, colegas y amigos que se queden en ella. Esto significa que viajar más rápido que la luz invalidaría el principio de causalidad, que dice que las causas preceden a los efectos y no al revés. De plano no es posible viajar más rápido que la luz, porque así está constituido el Universo.

Ya que la teoría especial de la relatividad, publicada por Albert Einstein en 1905, dice que nada puede viajar más rápido que la luz a través del espacio, Alcubierre pensó que si el espacio mismo se



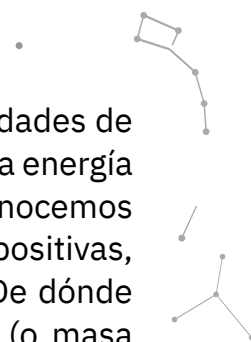
- deforma, ya no habría tal impedimento, ni contradicción a las teorías de Einstein, pues si la geometría del espacio-tiempo puede distorsionarse, esto permite que la nave se desplace más rápido que la luz.



El “*warp drive*” o “propulsión por distorsión”

El nombre de la teoría del mexicano Alcubierre está inspirado en el “*warp drive*”, el sistema de propulsión con el que está equipada la nave Enterprise de la serie de ciencia ficción *Star Trek*, y que le permite desplazarse a velocidades mayores que la de la luz. La idea básica de Alcubierre es utilizar el hecho probado por el mismo Einstein de que el espacio puede expandirse y contraerse. Por lo tanto lo que se debe hacer es crear una expansión violenta del espacio detrás de una nave espacial, y una contracción opuesta del espacio frente a ella. De este modo, la distancia entre la nave y su origen aumentaría rápidamente, mientras que la distancia entre la nave y una estrella destino lejana disminuiría al mismo ritmo. Esto permitiría que la nave se desplazara hasta aquella estrella en un tiempo tan breve como se quisiera. Una nave que usara este tipo de distorsión del espacio no se movería “a través” del espacio, sino “con” el espacio por eso no se usa el término viajar sino desplazar. En esta propuesta, al moverse o desplazarse a través del espacio, ni sus pasajeros ni la nave, resienten los efectos relativistas puesto que en teoría no se mueven, sino que es el espacio el que se está deformando delante y detrás de ellos.

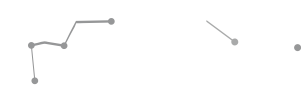
En la teoría de Einstein, se tienen dos lados de la ecuación. Por un lado uno tiene la deformación del espacio-tiempo, la geometría, y del otro lado uno tiene la fuente, la masa, la energía que uno necesita para deformar el espacio. En principio uno puede decir, yo deformed el espacio como yo quiera, propongo una geometría, acudo a las ecuaciones de campo de Einstein y obtengo lo que está del otro lado, la fuente del campo gravitacional. Cuando uno pone esta geometría



tipo “warp drive”, lo que queda del lado derecho son densidades de energía negativa. Y no me refiero a la energía potencial sino a energía de la masa y el problema es que en la naturaleza no conocemos energías negativas, todo lo que conocemos tiene energías positivas, se genera gravedad atractiva y las masas son positivas. ¿De dónde vamos a sacar energías negativas? A la energía negativa (o masa negativa) se le llama exótica. Así se le llama porque no la conocemos.

Este resultado también tiene otra propiedad interesante: La materia exótica, o la energía negativa, lo que produciría sería un campo gravitacional que repele, en lugar de atraer. Tendría un efecto repulsivo que es lo contrario de lo que estamos acostumbrados a observar. En el Warp Drive se requieren energías negativas para comprimir y expandir el espacio. Esta materia exótica (con densidades de energía negativa) es actualmente un problema interesante, pues en física clásica no existe. En mecánica cuántica hay posibilidad, en algunas regiones, pero en cantidades minúsculas y prácticamente sin posibilidades de utilizarse. Eso es materia exótica, algo que tiene densidad de energía negativa y que produce antigravedad.

En el Warp Drive se tiene expansión por detrás, contracción adelante, y esto se restringe a una especie de burbuja de espacio-tiempo en la que se supone que no pasa nada. Si tú estás dentro de la burbuja, puedes acomodar las cosas de manera que no haya fuerzas intensas, que no sientas gravedad, y puedes ir flotando muy tranquilo en su interior. Tendrías que colocarte en su región central, lejos de las paredes, pues en las paredes se concentraría la energía exótica, paredes que tendrían un cierto espesor, no muy delgadas. Mientras no toques las paredes estarías muy tranquilo y la burbuja te llevaría de un lado a otro, sin que sintieras nada. Ni siquiera sentirías aceleración o desaceleración. La burbuja se podría estar acelerando tan rápido como quieras y no lo sentirías. En ciencia ficción es lo que se



- llamaría una producción no newtoniana. Una producción newtoniana es aquella en la que, como en los cohetes, si se aceleran los tripulantes se van hacia atrás debido a la inercia.



En el interior de la burbuja el espacio es plano y no hay efectos de tiempo. En la propuesta que construí, en la burbuja no habría alteraciones de tiempo o espacio, la geometría se mantendría, y podrías viajar a otras galaxias y no se presentarían efectos.

La materia y la energía oscura... lo todavía invisible

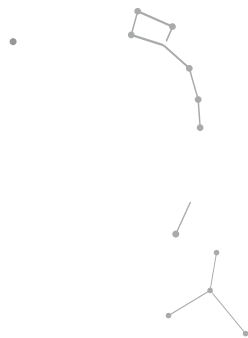
¿La última sorpresa?

Después de tanto que el ojo mágico del telescopio nos ha revelado llegamos a una etapa de la investigación cósmica que nos revela que nuestro universo está dominado por un sector verdaderamente oscuro, encontramos, que el universo en realidad está dominado por una clase de material que no sabemos qué es, ni de qué está hecha ni sabemos exactamente cómo se comporta, pero que forma parte del 73% del contenido material del universo. A falta de un mejor nombre, le llamamos materia oscura y resulta que es la mayoría en el universo, por lo que todo el material conocido, visto, detectado, o descubierto, llamado materia bariónica, es decir materia normal, es en realidad la minoría en el universo, por lo tanto hasta nosotros mismos los seres humanos, que estamos hechos de esa materia bariónica normal, somos, los raros, ya que la materia normal de la que estamos hechos representa sólo el 4% del todo, mientras que la mayor parte del universo consiste de un material muy exótico que provoca campos gravitatorios, ayuda a que se formen estructuras, pero que no lo hemos podido ver, ni conocemos nada de sus

partículas, solamente nos hemos atrevido a llamarle materia oscura y energía oscura. Entonces, en son de broma podemos decir: ¿para qué nos preocupamos? ¿A quién le interesamos? si somos la minoría, y estamos por ahí rodeados de unos materiales súper extraños que sí que son la mayoría del universo, tenemos una edad que es de 13.7 mil millones de años y la expansión se está acelerando gracias a este nuevo y extraño ingrediente que hace al universo mucho más complejo y más complicado de lo que Hubble Sandage, Haro y todos los demás habían imaginado.



CA PÍ TU LO 8



MÉXICO LA ASTRONOMÍA Y LA TECNOLOGÍA

Nuestro País está en el centro

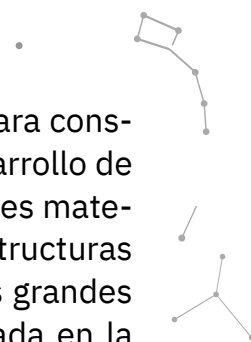
Nuestro país, México, está geográficamente situado en una posición excelente para observar el cielo, su posición en el globo terráqueo es tal que es posible observar toda la bóveda celeste del norte y gran parte de la bóveda celeste del sur. Esto gracias a que nuestro país está situado entre los 14 y los 31 grados de latitud norte, por lo que desde el sur solo se ocultan unos 14 grados de la bóveda celeste del cielo sureño mientras que en el Norte se puede observar todo el cielo del norte donde hay más objetos interesantes descubiertos hasta hoy, además México tiene montañas muy altas que permiten evitar que la luz proveniente del cosmos tenga que atravesar capas demasiado gruesas de atmósfera, lo que distorsiona la visión, y por otro lado observando desde alturas mayores la temperatura es más establemente fría y evita modificaciones de la imagen a causa de convenciones térmicas en la atmósfera.



- Las civilizaciones prehispánicas gozaron de estas ventajas, pero además de cielos nocturnos muy oscuros , en ausencia de iluminaciones artificiales eléctricas como las de la actualidad, en consecuencia el estudio del cielo desde los territorios de lo que ahora es México fue necesariamente una actividad muy importante, que en su desarrollo provocó sorprendentes tecnologías de construcción para alinear pirámides y templos, asimismo la observación precisa de los cielos permitió ubicar la posición terrestre de las ciudades y de los viajeros en sus exploraciones tanto como a las tácticas guerreras de esos tiempos. Son muchos los edificios construidos con precisas alineaciones celestes, lo que nos confirma la gran capacidad de los antiguos pobladores de Mesoamérica. Es muy conocido también el grado de precisión con los que los pueblos Mayas y Aztecas podían tomar medidas de los movimientos celestes y del conteo del tiempo, al grado que desarrollaron calendarios mucho más precisos que los usados en esos tiempos en Europa. El lugar geográfico de lo que llegaría a ser México ayudó mucho al desarrollo de la ciencia astronómica y al desarrollo de las tecnologías necesarias para su aprovechamiento.

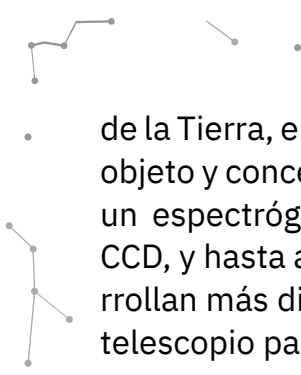
Más tarde durante la época virreinal y con la incorporación de los conocimientos traídos por los europeos al nuevo mundo, la observación y la astronomía en México superó por mucho las expectativas, dadas las condiciones favorables de latitud y altura que tiene México.

El interés generalizado por la astronomía siempre ha requerido de la ingeniería para construir los instrumentos necesarios para una buena observación, y en particular para la construcción de telescopios, dado que cada vez es más importante ser capaces de construir más y mejores telescopios para poder comprender los secretos del cosmos, es también importante desarrollar nuevas técnicas , materiales y procesos para hacer telescopios. Pensemos que desde el



mismo momento en que Galileo talló los primeros lentes para construir su primer telescopio, fue necesario la búsqueda y desarrollo de tecnologías para hacer el mejor vidrio, desarrollar los mejores materiales para tallar y pulir las lentes, construir los soportes y estructuras para sostener y guiar a los telescopios cada vez más y más grandes pesados y precisos. La ingeniería y la tecnología involucrada en la construcción, desarrollo e instalación de telescopios ha ido creciendo paralelamente al desarrollo del telescopio. Pero por otra parte los desarrollos tecnológicos desarrollados para hacer telescopios han resultado en grandes avances en tecnología, ingeniería, electrónica, óptica computación y muchas otras disciplinas. En consecuencia la ciencia y la tecnología han caminado juntas a través de los siglos de desarrollo en la investigación astronómica.

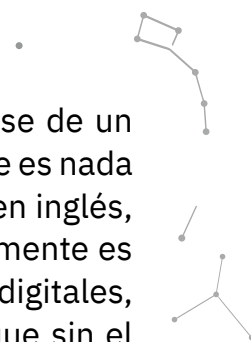
Son muchos los desarrollos derivados de la astronomía y del telescopio, para mencionar algunos de ellos y sus enormes repercusiones en la tecnología que han dado resultados sorprendentes para el bienestar de la humanidad. Pero comencemos por ver la impresión que nos causa el solo ver un telescopio por fuera , sobre todo uno profesional y de los más grandes, para empezar, un telescopio óptico típico es un instrumento, majestuoso que oculta muy poco su esencia, ya que cuando lo vemos generalmente podemos ver su interior y de inmediato nos percatamos de su poder, es una estructura enorme que se mueve con la precisión de la rotación de la Tierra, en el que su principal elemento es un enorme espejo que a simple vista deforma nuestra imagen cuando nos vemos en él, que pesa varias toneladas, con una gran cantidad de manijas, cables y controles que lo gobiernan, encerrado en una cúpula giratoria, que al girar hace sentir que “retiembla la Tierra en su centro,” el telescopio se dirige a su objetivo , y luego con silenciosa armonía lo atrapa y lo persigue a pesar de la rotación de la tierra, ya que se mueve al mismo ritmo y ni siquiera lo notamos tal y como no podemos notar los movimientos



de la Tierra, el gigante con su ojo mágico acaba por recibir la luz de un objeto y concentrarla en una pequeña región donde está un detector, un espectrógrafo, un fotómetro una placa fotográfica un detector CCD, y hasta a veces un humilde ojo humano. Pero cada día se desarrollan más dispositivos capaces de aprovechar la luz captada por el telescopio para estudiar la información recopilada.

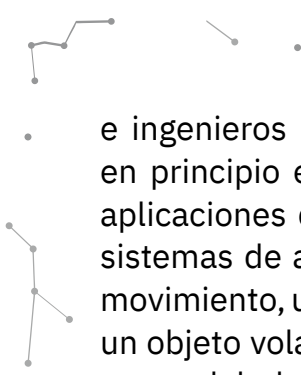
Pero la astronomía y el telescopio han recorrido un camino de la mano en el desarrollo de la ciencia y la tecnología compartiendo éxitos y beneficios.

Además de la ingeniería involucrada en la construcción y desarrollo de telescopios, está el desarrollo de tecnologías que benefician a la humanidad. Por ejemplo: en la actualidad casi todo el mundo trae un teléfono celular con capacidades de procesamiento casi increíbles, y cámaras fotográficas con resoluciones ópticas increíbles, la cantidad de fotos que se toman a diario con estos teléfonos celulares es verdaderamente increíble, pero pocos saben que esas cámaras fotográficas en los celulares son producto de un desarrollo provocado por las necesidades astronómicas de captar más luz y con mayor nitidez. Y más aún esa tecnología se desarrolló en México. Efectivamente alrededor de los años 80 un grupo de investigadores del Instituto de Astronomía de la UNAM, encabezado por el Dr. Claudio Firmani y el Dr. Élfego Ruiz, se enfocaron en desarrollar un instrumento capaz de detectar lo mejor posible la débil luz procedente de las estrellas más lejanas y capturada por el telescopio, su investigación resultó en un detector electrónico muy potente al que llamaron mepsicrón consistente en un contador electrónico de fotones bidimensional que analiza la posición y tiempo de incidencia de cada fotón atrapado y guarda en una memoria cada evento, para después de acumular y amplificar cada evento construir una imagen con todos los datos almacenados. Por lo que resulta ser muy eficaz

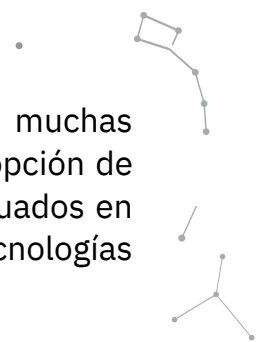


para el caso de la astronomía. Pero también es la idea base de un segundo desarrollo basado en el principio del mepsicrón que es nada menos que el CCD (Coupled Charge Device) pos sus siglas en inglés, que se desarrolló también para la astronomía y que actualmente es el principio básico de todas las cámaras de foto y video digitales, como las que hay en los teléfonos celulares. De manera que sin el desarrollo del Mepsicrón, los celulares no tendrían las poderosas y precisas cámaras que ostentan. De igual manera los lentes de las cámaras de los celulares son producto del desarrollo del tallado de ópticas no esféricas que ya no requieren tantas correcciones como las mencionadas en el capítulo de aberraciones, y que además son sumamente compactas y fabricadas en serie.

El desarrollo de telescopios cada vez más avanzados ha llevado también a producir nuevos materiales compuestos y programas de computación específicos para controlar los movimientos de los telescopios y procesar sus datos, esos mismos desarrollos ahora se usan en medicina para tratamientos de todo tipo, como lo son los materiales para bypass coronarios, las imágenes de rayos X y ultrasonido y el espectacular proceso de resonancia magnética nuclear, varios de estos desarrollos logrados en México por científicos e ingenieros mexicanos. Durante la construcción del Gran Telescopio Milimétrico en la cima de montaña Sierra Negra o Tliltépetl en el Estado de Puebla México, las condiciones meteorológicas de baja presión atmosférica y baja temperatura, llevaron al desarrollo de nuevos tipos de concretos capaces de curar en esas condiciones extremas, ahora el cemento mexicano enriquecido con esa experiencia, se puede ver en las construcciones de todo el mundo y es reconocido por su gran calidad y seguridad. Sistemas de soldadura, inspección de calidad y análisis de vibraciones se han desarrollado para mejorar el desempeño de los telescopios y han pasado a ser parte de los avances tecnológicos de todo el mundo. La gran capacidad y dedicación de los científicos



e ingenieros mexicanos desarrollando tecnologías y procesos que en principio eran para uso en los telescopios ha arrojado además aplicaciones de mejoras en muchos otros campos, por ejemplo en sistemas de anaveaje de helicópteros sobre naves portaaviones en movimiento, un problema difícil de resolver, pues *anavear* es aterrizar un objeto volador y posarlo sobre un barco en movimiento caótico a causa del oleaje, pero la gran capacidad de controlar movimientos aprendida al controlar telescopios ha permitido que científicos e ingenieros mexicanos hayan desarrollado este sistema, que actualmente se usa en muchos países. Jorge Zavala joven recién doctorado del INAOE usando el GTM y el receptor de corrimiento a rojo desarrollado para el GTM, analizando las transiciones moleculares de un objeto muy rojo y lejano, identificó lo que no solo resultó ser una galaxia muy lejana sino que en realidad es la segunda galaxia más lejana jamás detectada antes, esta conclusión causó revuelo y fue verificada por varios observatorios alrededor del mundo, que avalaron las conclusiones obtenidas en el GTM. En el laboratorio de óptica se desarrollan las inyecciones sin aguja usando un láser. Y la participación en la obtención de la primera fotografía del horizonte de eventos merece un capítulo aparte. En México y en particular en el INAOE se han fabricado elementos ópticos para otros telescopios del mundo, especialmente para el Gran Telescopio Canarias de España, lo que permite a los astrónomos mexicanos ser socios y tener acceso a este telescopio que es el telescopio óptico más grande del mundo, Otro ejemplo muy importante es el desarrollo de sistemas de apuntado desde naves en movimiento, muy eficaz en la lucha contra el narco tráfico y el terrorismo. Estos sistemas han sido desarrollados en el INAOE, en Tonantzintla Puebla, un pequeño pueblo mexicano otrora de dedicado a la floricultura, a la crianza de ganado lechero y a la producción artesanal de quesos, y actualmente, gracias a la ciencia y tecnología encumbrado a los niveles más altos del desarrollo científico y tecnológico, pero lo más importante tal vez sea que ahora



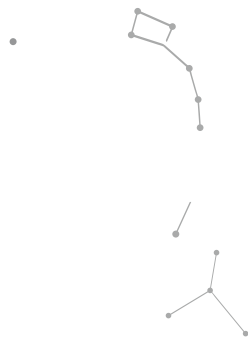
los jóvenes de Tonantzintla, Texmalaquilla, Atzitzintla y muchas otras partes del país , ya ven a la ciencia como una gran opción de estudio, y ya hay varios jóvenes de estas localidades graduados en física, química, ingenierías, computación, matemáticas, tecnologías médicas etc.

La astronomía, el telescopio, el INAOE, el Estado de Puebla y la tenacidad y capacidad de los mexicanos están cambiando nuestro querido país para hacerlo cada vez mejor.

De manera que cada vez que vemos un telescopio o vemos a través de él nos estamos asomando al infinito y nos preguntamos qué hay más allá, pero también estamos reconociendo que obtenemos grandes beneficios prácticos con el desarrollo del mágico ojo que es telescopio junto con la reina de las ciencias que es la Astrofísica.



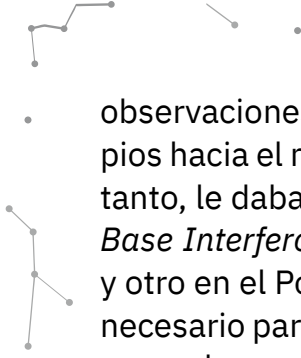
CA PÍ TU LO 9



ACTUALIZANDO UNA HISTORIA SIN FIN

Cada día o tal vez cada minuto, en algún lugar del mundo surgen nuevas ideas , nuevos desarrollos y nuevos proyectos para hacer más y mejores telescopios, y son cada vez más especializados. Es difícil saber cuándo y cuánto se mejoran los telescopios y sus instrumentos, pero por eso necesitamos más y mejores científicos e ingenieros, que colaboren en los telescopios más importantes del mundo.

El GTM (Gran Telescopio Milimétrico) es la joya de los telescopios mexicanos, además de tener una ubicación privilegiada y un tamaño impresionante, es una instalación científica operativa con la capacidad técnica y humana para unirse al proyecto de fotografiar por primera vez un agujero negro. El líder del proyecto Shep Doeleman envió, desde el Instituto Tecnológico de Massachusetts (el prestigioso MIT) un reloj atómico para ser integrado a la instrumentación del GTM en abril de 2014. En términos simples, este reloj permite conocer el tiempo con una exactitud tan grande que solamente se desvía un segundo de la hora exacta en un período de 30 millones de años, con una resolución que típicamente alcanza la mil millonésima de segundo. Con este reloj, el GTM puede sincronizar sus



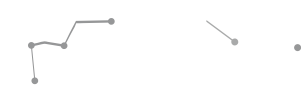
- observaciones con las observaciones que realizarían otros telescopios hacia el mismo objeto celeste en cualquier parte del mundo, por tanto, le daba la posibilidad de aplicar la técnica de VLBI. *Very Large Base Interferometry*. En principio, con un telescopio en Groenlandia y otro en el Polo Sur se tendría el telescopio equivalente al diámetro necesario para observar el horizonte de eventos de un agujero negro, que es lo que se sucede en los límites de los agujeros negros. El GTM, y otros telescopios ubicados más hacia el ecuador darían mayor resolución a la observación.

En mayo de 2014 se hicieron pruebas sincronizando el GTM con 7 radiotelescopios de los 10 que conforman el VLBA, *Very Large Base Array* un arreglo de radiotelescopios distribuidos en varias partes de los Estados Unidos. Entonces arrancó una carrera contra el tiempo: en estrecha colaboración con el Observatorio Haystack del Instituto Tecnológico de Massachusetts, el Observatorio Astrofísico Smithsonian, la empresa MERLAB, la Universidad de Massachusetts y el INAOE se modificó un receptor interferométrico en el rango de 1.3 mm. Para incluir una nueva óptica de acoplamiento, un nuevo polarizador y un sistema de memoria capaz de almacenar datos a la impresionante rapidez de 16 Gigabits por segundo. En marzo de 2015 se llevó a cabo la primera observación conjunta con los observatorios JCMT (James Clerk Maxwell Telescope) y SMA (Sub Millimeter Array) en Hawaii, CARMA (Combined Array for Research in Millimeter Wave Astronomy) en California, ARO (Arizona Radio Observatory), SMT (Sub Millimeter Telescope) en Arizona, y APEX (Atacama Pathfinder Experiment) en Chile. El primer resultado indicaba que se había llevado a cabo, de manera exitosa, la observación del centro de nuestra galaxia con el GTM simultáneamente con el JCMT (a 6000 kilómetros de distancia uno del otro) representó un hito fundamental en la historia del telescopio. Ya no quedaba duda

que el GTM se encontraba a la altura de otros radiotelescopios de clase mundial, además, era el radiotelescopio más grande de la red.

Las observaciones para el EHT *Event Horizon Telescope* fueron especialmente demandantes pues solamente se pueden llevar a cabo durante un período de unos cuantos días entre marzo y abril, cuando, por la inclinación de la Tierra, el objetivo es observable tanto para los telescopios en el hemisferio norte como los telescopios en el hemisferio sur, para conformar el telescopio equivalente del tamaño del diámetro de la Tierra. No había lugar para retrasos, no había lugar para fallas, era necesario que todas las piezas funcionaran a la perfección, que toda la logística estuviera en su lugar (el hospedaje, los vehículos, la gasolina para que el equipo binacional subiera y bajara la montaña), que la energía eléctrica no sufriera un súbito apagón, que las condiciones atmosféricas fueran benignas en todos los telescopios alrededor del mundo etc. Para las observaciones de 2016 y 2017 se unieron el SPT (South Pole Telescope) en el Polo Sur, IRAM (Instituto de Radio Astronomía Milimétrica), en España; NOEMA (Northern Extended Millimeter Array) en Francia, el GLT (Greenland Telescope), en Groenlandia y ALMA (Atacama Large Millimeter Array) en Chile. Las observaciones en 2018 tuvieron especial importancia pues se realizaron con el GTM completo, con 50 metros de diámetro, con toda la red de actuadores recién terminada en febrero, con un nuevo interferómetro de base muy larga VLBI de 1mm, y la mejor transparencia atmosférica de toda la red (al menos durante una noche), El GTM se confirmó como el más grande, el más sensible y más estable de la red internacional de radio telescopios.

Durante esas campañas de observaciones se generaban unos 350 Tera bytes de datos cada noche que se almacenaban en discos duros que se transportaban cuidadosamente desde la cima hasta el INAOE y luego se enviaban a los laboratorios de súper cómputo del Instituto



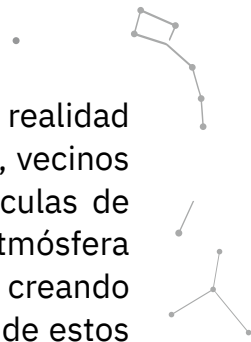
- de Radio Astronomía Max Planck, en Alemania, y al Observatorio Haystack del MIT, en Estados Unidos, para ser procesados por equipos independientes.



El reconocimiento a toda esta labor llegó el 10 de abril de 2019: en conferencias de prensa simultáneas en Ciudad de México, Washington, Santiago de Chile, Bruselas, Tokio, Taipei y Shangai se reveló al mundo entero la primera imagen de un agujero negro, la imagen que por fin daba evidencia experimental a las predicciones teóricas que Albert Einstein hiciera hace 100 años. La imagen estuvo en la primera plana de todos los diarios del mundo, de todos los sitios de noticias en internet, en la página principal de Google, en las redes sociales; la imagen se volvió tema obligado en reuniones familiares y no hubo persona en la tierra que no hablara del agujero negro y de la teoría de la relatividad; la fotografía del horizonte de eventos, se convirtió, probablemente, en el logro científico y tecnológico más importante del siglo XXI. Celebrando apoteósicamente el éxito obtenido. Por este magnífico logro, el Gran Telescopio Milimétrico, como parte del proyecto EHT, recibió el afamado premio internacional 2020 *Science Breakthrough*, el considerado premio Nobel de la ciencia moderna.

De esta manera el GTM reclama para México el lugar que por herencia ancestral le corresponde, haciendo historia en la astronomía mundial para orgullo de todos los Mexicanos. El GTM de Puebla , México tiene un futuro muy halagador y una expectativa de éxitos sin fin.

Además del GTM , nos volvemos a encontrar con otro gran telescopio situado en el Estado de Puebla, se trata del telescopio HAWK , *High Altitude Water Cherenkov* , que es un telescopio que puede parecer cualquier cosa menos un telescopio , ya que se trata de una serie de tanques llenos de agua de alta pureza, que más bien parecen



un reservorio de agua cubiertos por lonas, pero que en realidad están ahí en las inmediaciones de la montaña Sierra Negra, vecinos del GTM. y cuya función es atrapar una cascada de partículas de radiación gamma de altísima energía que al entrar en la atmósfera terrestre interaccionan con muchas otras partículas más creando una especie de cascada de partículas que al llegar al agua de estos tanques, emiten un fotón, por el efecto Cherenkov el cual detectado por sensibles sensores , el mapa de detecciones que se obtiene al registrar estos fotones Cherenkov en los tanques de agua , provee información y datos que, con detallados análisis, permiten a los científicos rastrear la partícula original que desató esa lluvia de partículas secundarias, y de esa manera saber de dónde vino la partícula original y con cuánta energía llegó a la tierra , eso les da la posibilidad de hacer cálculos específicos y saber el la fuente de emisión de las partículas altamente energéticas. Es una verdadera investigación al estilo de Sherlok Holmes, regresando los hechos hasta encontrar a la partícula “culpable”.

Las partículas de altas energías que llegan a la tierra proceden de los fenómenos más energéticos del universo, y suponen un peligro de destrucción de todo lo que llegan a tocar, sin embargo, y por fortuna la atmósfera terrestre nos protege nuevamente interaccionando repetidas veces con ellas y debilitándolas, por lo que las sub partículas que llegan a la tierra son menos peligrosas, pero aun así se son capaces de provocar un efecto Cherenkov que permite su detección y estudio. ¿No es esta una razón más para cuidar la atmósfera?

El telescopio Hawk es en realidad un conjunto de tanques de agua formados en un altiplano de más de 4 mil metros de altura sobre el nivel del mar, que forman un curioso patrón capaz de detectar los fotones Cherenkov en el agua de alta pureza contenida en sus

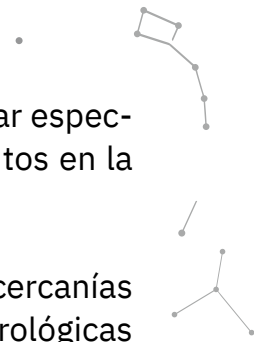


- tanques, y por lo tanto es un telescopio sumamente extraño a los ojos de cualquier visitante.



Fig. 31 El observatorio de rayos Gamma Hawk en el Estado de Puebla Visto desde el GTM

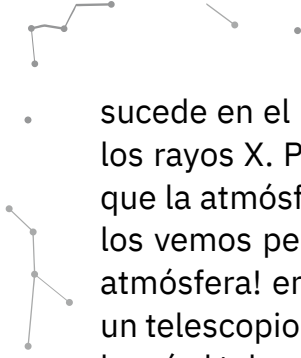
El observatorio de rayos gamma con su telescopio Hawk están también situados en una altiplanicie del volcán Sierra Negra del Estado de Puebla a unos 500 metros más abajo del GTM, la altura sobre el nivel del mar para la detección de estas radiaciones de partículas de altísima energía es muy importante, para detectar la mayor cantidad de ellas, el Hawk es una colaboración internacional de varias instituciones nacionales y extranjeras encabezadas por el INAOE y la Universidad de Maryland en USA y es una consecuencia del éxito logrado por la colaboración binacional del GTM. la elección del sitio para instalar el Hawk, pasó por varios procesos de selección con la ya famosa Sierra Negra entre varios lugares del mundo, pero finalmente México y el estado de Puebla fueron escogidos para la instalación de este sui géneris instrumento de investigación, de manera que en la Sierra Negra se pueden observar longitudes de



ondas desde el infrarrojo hasta los rayos gamma. Es un lugar espectacular para la astronomía con estos dos observatorios juntos en la montaña Sierra Negra del Estado de Puebla.

Otros experimentos importantes se llevan a cabo en las cercanías del GTM y del Hawk, pues hay instaladas estaciones meteorológicas y detectores de neutrinos que operan en este lugar gracias a su gran altura y a su infraestructura, lo que convierte a México y al estado de Puebla nuevamente en un centro de la investigación astronómica mundial, tal como en la época de los mayas y durante los espectaculares descubrimientos de Guillermo Haro y sus colaboradores en Tonantzintla. Por lo que el estudio de las ciencias físicas y en particular de la astronomía es un polo de atracción para los jóvenes estudiantes de Puebla, México y el mundo entero.

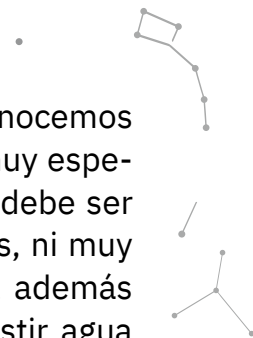
Observar en longitudes de onda tan variadas, para conocer lo nunca antes visto a través de la luz emitida por los objetos y sucesos cósmicos es posible gracias a la manipulación de la luz, ya sea con telescopios ópticos que reflejan o refractan la luz sobre superficies de secciones cónicas como parábolas, elipses hipérbolas etc, o con radiotelescopios que reflejan las ondas electromagnéticas invisibles al ojo humano sobre superficies cónicas, o detectando partículas en tanques de agua, como es el caso de Hawk. ¿Pero ...qué hay de la luz de alta energía como la de los rayos X? Sabemos desde 1895 cuando Konrad Röntgen obtuvo la primera placa radiográfica de la mano de su esposa Anna Bertha, que los rayos de luz catódica, a los que llamó rayos X, por no saber que eran, atraviesan la mayoría de los materiales, y por lo tanto si construimos un telescopio para rayos X y queremos reflejar estos rayos con un espejo, lo que sucederá es que la luz de los rayos X, gracias a su energía alta atravesaran el espejo, en lugar de reflejarse, lo que en primera instancia parecería ser un obstáculo para hacer un telescopio que pueda “ver” que



sucede en el universo cuando lo miramos en la longitud de onda de los rayos X. Para empezar desde la tierra no podríamos ver nada ya que la atmósfera detiene todos los rayos x que llegan a la tierra y no los vemos pero tampoco nos dañan. ¡Otra razón para cuidar más la atmósfera! entonces para doblar o reflejar los rayos X es necesario un telescopio en el espacio, tal como el telescopio Hubble, y la NASA lanzó el telescopio de rayos X llamado Chandra en honor al astrofísico hindú Chandrasekhar en julio de 1999. Pero...¿cómo dobla la luz de rayos X? Pues aprovechando una característica óptica de la luz que se puede reflejar si incide en una superficie con un ángulo específico en el cual en lugar de penetrar el material se refleja, ese ángulo es muy abierto y por lo tanto el espejo es más bien un cilindro anidando superficies hiperbólicas y parabólicas que logran concentrar la luz de los rayos X en un plano focal para formar una imagen visible con instrumentos especiales, otra vez el telescopio en su versión rayos X nos permite ver lo nunca antes visto. Esta mucho mas lejos de la tierra que el Hubble , obtiene su energía de celdas solares, observó la primera emisión de rayos X del agujero negro supermasivo Sagitario A el telescopio Chandra puede ver partículas en rayos X apenas un minuto antes de ser tragadas por un agujero negro, y ¡un grupo de estudiantes de secundaria descubrieron una estrella de neutrones con los datos obtenidos de Chandra! ¿No debería esto motivar a muchos estudiantes mexicanos a estudiar astrofísica? ¡Claro que sí!

Chandra puede observar los eventos con mayores temperaturas del universo, mientras que el GEM observa los fenómenos más fríos, hay todo un abanico de posibilidades.

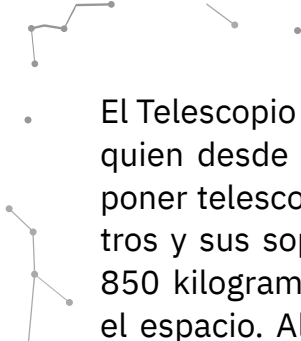
Otro telescopio súper estrella en la constelación de los grandes telescopios es el telescopio Kepler, dedicado a la emocionante tarea de buscar planetas fuera del sistema solar, a los que llamamos exoplanetas, con la esperanza de poder encontrar alguno de ellos parecido



a la Tierra donde pudiese haber vida, al menos como la conocemos en la Tierra, un planeta así debería reunir características muy especiales, por ejemplo de tamaño y temperatura, es decir no debe ser muy grande para que su gravedad aplaste a los seres vivos, ni muy pequeño para no poder retener una atmósfera respirable, además de no ser ni muy frío ni muy caliente para que pueda existir agua en estado líquido que es necesaria para la vida. Pero el telescopio Kepler no solo busca planetas habitables sino de todo tipo, porque es importante conocer la cantidad de planetas que existen.

Lamentablemente el telescopio Kepler ha dejado de funcionar por algunas fallas y es imposible repararlo ya que se encuentra cada vez más y más lejos de la tierra y no se puede mandar una misión a repararlo, pero un nuevo telescopio está en fabricación para sustituir al valioso Kepler.

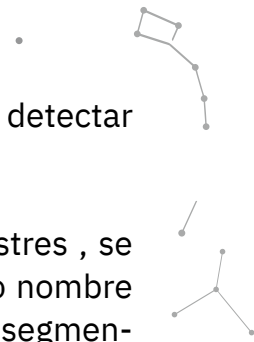
Kepler Hubble y Spitzer son la tercia de ases de los telescopios de la NASA en el espacio, de Hubble ya hemos hablado bastante y se considera el más exitoso de todos. Spitzer es un telescopio espacial para hacer observaciones en la parte infrarroja del espectro, está en órbita heliocéntrica es decir gira alrededor del sol como la tierra pero alejándose cada vez más de la tierra a razón de 15 millones de kilómetros por año. Es un telescopio del tipo cámara Schmidt, como el de Tonantzintla que por muchos años usó uso Guillermo Haro para hacer sus descubrimientos y es el telescopio más reciente y de tecnología más avanzada, aunque ya sabemos que cada día la tecnología va dejando atrás a lo que llamamos lo más reciente y el estado actual del arte, porque cada día miles de astrónomos , ingenieros y científicos están ideando nuevos instrumentos y dispositivos para arrancar al universo sus secretos más profundos.



- El Telescopio Spitzer fue nombrado así en honor al Dr. Lyman Spitzer quien desde los años 40 del siglo XX fue promotor de la idea de poner telescopios en el espacio, su óptica infrarroja de 85 centímetros y sus soportes de berilio lo hacen muy ligero; sólo pesa unos 850 kilogramos, en la Tierra, porque ya sabemos que no pesa en el espacio. Al ser un telescopio de observación infrarroja requiere mucha refrigeración con Helio, que lamentablemente se va agotando por lo que dejó de funcionar en 2020, pero antes nos dejó grandes descubrimientos, como exoplanetas, cometas, asteroides, y un anillo no conocido de Saturno.

Un telescopio más reciente es el telescopio espacial James Webb, una colaboración de 17 países con la NASA y la agencia Espacial Europea y canadiense. Con un espejo primario segmentado de 18 secciones hexagonales que forman una apertura de 6.5 metros que en comparación con Hubble es 3 veces más, se esperan imágenes mucho más espectaculares con este telescopio observará la luz visible. Es nombrado en honor al director de la NASA durante los convulsivos años de la exploración lunar. La pandemia de COVID a retrasado su lanzamiento pero está listo para ser enviado al espacio el 18 de diciembre de 2021 después de varios retrasos, y será el telescopio espacial más poderoso.

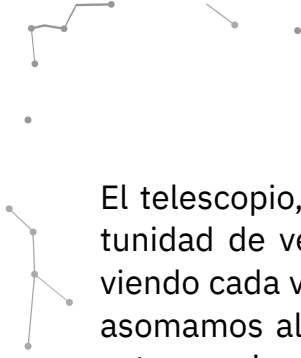
El observatorio de rayos gamma Compton, como homenaje al Premio Nobel Arthur Compton físico estadounidense; se nombró y se lanzó en 1991 este telescopio de rayos gamma, duró 9 años estudiando el cosmos, aunque se esperaba una vida útil de solo 4 años. Al final fallaron sus giróscopos y se tuvo que bajar controladamente al Océano Pacífico, pero produjo grandes descubrimientos en las regiones más energéticas del espectro electromagnético entre 20 kiloelectronvoltios (Kev) y 30 gigaelectronvoltios (Gev).



Pero ahora nuestro telescopio HAWK en Puebla es capaz de detectar partículas de hasta 100 teraelectronvoltios (TeV).

Por lo que respecta a los más recientes telescopios terrestres , se destaca el Gran telescopio Canarias en las islas del mismo nombre con una sorprendente apertura de 10.4 metros de espejos segmentado es el más grande del mundo en su tipo. México participa en este telescopio construyendo instrumentación óptica en el INAOE de Puebla, lo que permite a astrónomos mexicanos tener tiempo de observación en este enorme telescopio de última generación. También el Instituto de Astronomía de la UNAM y la Universidad de Florida participan junto con España y la Unión Europea en este proyecto.

México tiene entre sus proyectos la construcción de un telescopio y de 6.5 metros para ser colocados en San Pedro Mártir Baja California o en Cananea Sonora. Es necesario contar con recursos económicos para llevar a cabo estos proyectos de desarrollo e investigación que como hemos visto se traducen en beneficios tecnológicos de grandes beneficios para la humanidad. Existe ya en México la infraestructura y la capacidad técnico científica para llevarlos a cabo y seguir participando en el fantástico concierto del descubrimiento global del cosmos. Por eso el desarrollo del telescopio y de la humanidad en general es una historia sin fin, y así queremos que siga siendo.



EPÍLOGO

El telescopio, el ojo mágico de la humanidad nos ha dado la oportunidad de ver lo nunca antes visto, y parece que continuaremos viendo cada vez más y más a lo nunca antes visto, cada vez que nos asomamos al universo a través de un telescopio de cualquier tipo estamos viendo lo nunca antes visto, vemos al pasado porque lo que observamos son fenómenos que sucedieron en el pasado y cuya luz ha tardado un tiempo en llegar a nuestros ojos humanos, puede que veamos al pasado distante y remoto o al pasado inmediato, dependiendo de la distancia a la que observamos, pero aún mirando a la luna la estamos viendo como era hace un par de segundos, porque su luz ha tardado en llegar a nosotros, de la misma manera la luz de las galaxias y cuasares más remotos ha tardado millones de años viajando hasta llegar a nosotros, y maravillosamente estamos aquí, con nuestros telescopios para recibir esa información, maravillarnos con su belleza e información y arrancándole sus secretos.

El telescopio es el ojo mágico de la humanidad cuando la palabra mágico se convierte en ciencia, conocimiento y admiración, nos queda un camino cada vez más y más impresionante por recorrer con el telescopio, que nos lleva a los confines más lejanos del universo, nos transporta hasta el origen del mismo nos abre los ojos y el cerebro al entendimiento del conocimiento infinito y nos llena de alegría por lo logrado, en cuanto más personas se asomen a ver el universo con este ojo mágico más serán los conocimientos que llegaremos a tener, observar descubrir y entender el universo a través del telescopio es un privilegio de nuestro tiempo, que debemos aprovechar, cada día hay miles de ojos humanos que se convierten en ojos mágicos cuando ven lo nunca antes visto a través de un telescopio.



REFERENCIAS

Dultzin, D, Cuasares en los confines del universo 1995
Durham, F y Purrington, R La trama del Universo. 1989.
Goodstein, D. Goodstein, R J La conferencia perdida de Feynman ,1999
Haro, G En el Cielo y en la Tierra 1953
Hoskin, M editor Cambridge Illustrated History of Astronomy. 1997
Kaku, M Física de lo imposible 2012.
Malacara, D , Malacara, J Telescopios y estrellas 1988.
Malacara, D Optical Shop Testing.
Poniatowska, E, El Universo o Nada. 2013.
Wikipedia

ILUSTRACIONES

Las ilustraciones e imágenes son de:
Archivo fotográfico del INAOE
Archivo fotográfico del Autor
La red www.

AGRADECIMIENTOS

Al Concytep y a su director general
Dr. Victoriano Covarrubias Salvatori
por su gran apoyo en la edición de este libro.

A mi esposa Mtra. Guadalupe Rivera Loy que sí es una
verdadera escritora, por su apoyo, consejos y regaños.

A mi amigo y colega Dr. José Luis Hernández
Rebollar, compañero con quien siempre
he armonizado nuestro trabajo.

Al INAOE y a la Universidad de Massachusetts que me
dieron la posibilidad de participar en la extraordinaria
aventura de trabajar con sus telescopios.

A mi gran mentor Dr. Guillermo Haro Barraza que me
enseñó no sólo la ciencia sino la filosofía de la vida.

Al Dr. David H Hughes Director del GTM
por su apoyo y confianza.

Al Dr. Francisco Soto Eguibar por sus comentarios

Al Dr. Eduardo Tepichín Rodríguez y a Jorge Ibarra Galitzia
por su revisión de la parte óptica y de fotografía.

Al Dr. Miguel Chávez Dagostino
por sus informaciones acertadas.

Y a tantas otras personas que me ayudaron
con este trabajo y que no puedo nombrar
pero que saben cuánto les agradezco.



Gobierno de Puebla
Hacer historia. Hacer futuro.



**Secretaría
de Educación**

CONCYTEP
Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla