



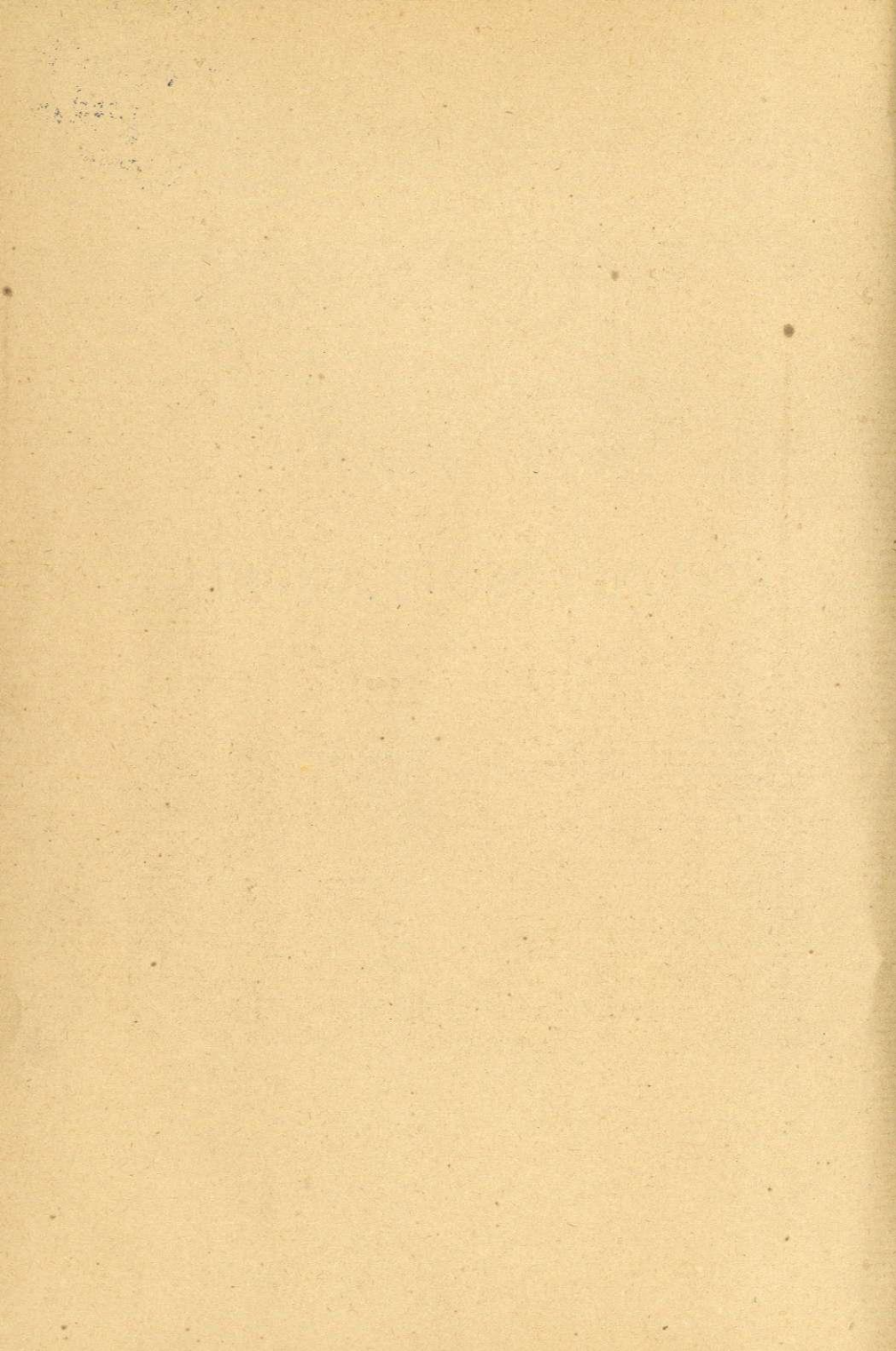




523
ARM
NOC

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL GRANADA	
Sala:	B
Estante:	3
Numero:	190

NOCIONES DE ASTRONOMÍA



R. 389



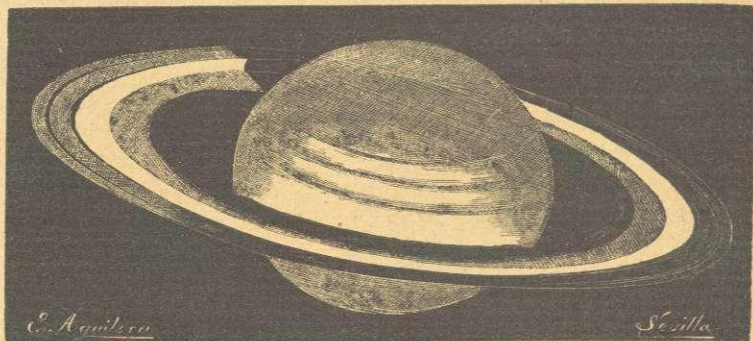
NOCIONES
DE
ASTRONOMÍA

POR

D. JERÓNIMO ARMARIO Y ROSADO, PBRO.,

DEL CLAUSTRO DE DOCTORES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA
Y PROFESOR DE DICHA ASIGNATURA
EN EL SEMINARIO GRAL. Y PONTIFICIO DE SEVILLA,
Y MIEMBRO DE LA SOCIEDAD ASTRONÓMICA DE FRANCIA.

CON CENSURA Y LICENCIA ECLESIASTICA.



SEVILLA

Librería é Imprenta de Izquierdo y C.^a

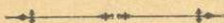
FRANCOS, NÚM. 54.

1900.

Es propiedad del Autor. Queda hecho el depósito que marca la Ley.



CENSURA



CON agradable sorpresa recibí, y con mucha atención he examinado, para su censura eclesiástica, de orden de S. E. Rma., el manuscrito intitulado “Nociones de Astronomía,” por D. Jerónimo Armario y Rosado, Pbro., del Claustro de Doctores de la facultad de Filosofía, profesor de la indicada asignatura en el Seminario General y Pontificio de Sevilla y miembro de la Sociedad Astronómica de Francia. Y en verdad que nada ha podido ocurrirme antes que dar las gracias, como lo hago respetuosamente, á nuestro Excmo. y Reverendísimo Prelado por la honra que me atribuye, creyéndome capaz de censurar un libro de tan altos vuelos, de conocimientos poco comunes y que viene llamado á producir, con mucha gloria de la Iglesia, los frutos ópimos que la ciencia unida á la Fè atesoran en el campo de la Religión.

Cumplido este deber de gratitud tengo singular complacencia en declarar: que lejos de parecer en el aureo libro especie alguna que más ó menos se oponga á la doctrina católica, he encontrado, si, mucho que aprender y mucho que admirar en todas sus páginas.

De aplaudir es en primer término la oportunidad

con que la anunciada obra llega, para satisfacer una exigencia científica, que no existía ayer, pero que es hoy una necesidad de la sagrada enseñanza.

Y es que, no obstante todo lo que la Astronomía debe á los eclesiásticos como Copérnico, como el Cardenal de Cusa, como el capuchino P. Rheita, como los PP. Curley y Vico, ambos de la Compañía de Jesus y otros muchos hasta el P. Secchi, y aun como el mismo Leon XIII, quien sin embargo de las penurias del erario pontificio, ha tenido alientos para dotar á su palacio del Vaticano de magnífico observatorio, que ha puesto en manos y bajo la dirección del P. Angel Rodriguez de Prada, Agustino del Escorial; no obstante, digo, es lo cierto que la ciencia maravillosa de Urania no ha logrado puesto en la enseñanza de los Seminarios Conciliares hasta la época presente; en la cual, astrónomos muy deficientes en la fé, pretenden desacreditar la revelación divina con las soñadas revelaciones del Telescopio.

Se ha hecho, pues, convenientísimo y hasta necesario, que los eclesiásticos sepan hoy Astronomía para que contrarrestar puedan á los astrónomos impíos, para que el clero no se quede atrás y conserve su antigua primacía en el saber, y, en fin, para que á los esplendores de la ciencia sagrada comuniquen nueva luz los esplendores de una ciencia humana, que tanto agranda en la mente la idea de Dios, sensibilizando los atributos de su poder, de su sabiduría y de su gloria. "Los cielos narran la gloria de Dios" cantaba el Real Profeta.

Viniendo luego á las formas del libro, la claridad, precisión y parsimonia con que está escrito, le recomiendan por extremo, poniéndole al alcance de todos; pero muy particularmente se hace notar en él el método con que el autor procede, preparando siempre el estudio y la solución de los problemas más difíciles con tan graduales iluminaciones que, al llegar á ellos, se les

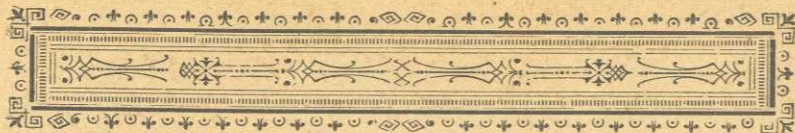
vé al punto con las claridades de la intuición, cosa no concedida sino á los escritores de verdadero talento; pues solo se escribe claro lo que con claridad se ha concebido penetrando en la médula de las verdades más ocultas.

Así despojado el libro, cuanto puede serlo, de la aridez científica y de la llaneza didáctica resulta tambien en cierto modo un libro de sabio, muy seguro y amenísimo solaz (1)

Elogios pues, que no reparos ni dificultades, es en mi humilde juicio lo que merece el manuscrito que tengo la honra de devolver á V. S. digno por todos conceptos de los honores de la publicidad.

Así que no encuentro otra manera de poner término á este dictamen sino felicitando, como lo hago con toda mi alma, al joven astrónomo, no menos que al Seminario General y Pontificio de S. Isidoro porque, gloria suya es contar, entre sus profesores, eclesiásticos conspícuos, como el docto Secretario de Estudios, señor D. Jerónimo Armario y Rosado.—Dios guarde á Vuestra Señoría muchos años.—Sevilla 5 de Junio de 1900.—Cayetano Fernandez.—M. I. Sr. Secretario de Cámara y Gobierno de este Arzobispado.

(1) Siguen á estos dos hermosos párrafos, los cuales, por referirse exclusivamente á la persona del autor, ha creído éste poder suprimirlos, con perdón de varón tan respetable y tan docto, como es el Ilmo. señor Chantre de la Catedral de Sevilla.



PROLOGO



Al publicar el presente libro no pretendo que se me considere como Astrónomo: me gusta, sí, la Astronomía; me complace el estudio de los grandes problemas de esta hermosa Ciencia; pero los medios, de que he podido disponer, no me han permitido hasta ahora hacer investigaciones propias, ni aportar con mi trabajo personal una piedrecita siquiera, para la construcción de tan grandioso edificio.

Tampoco me propongo ofrecer al lector una obra literaria: mi objeto es exponer con sencillez los principios de la Ciencia Astronómica; desarrollarla en todas sus partes con método, claridad y exactitud, y sin remontarme á investigaciones y problemas, que excedan los conocimientos y capacidad de un principiante, depositar en su inteligencia el germen de ulteriores progresos y adelantos.

De este modo lleno un vacío y acudo á una necesidad. Elevados los Seminarios de las Metrópolis Españolas por concesión de Su Santidad Leon XIII á la categoría de Generales y Pontificios; erigidas en ellos canónicamente las tres Facultades de Filosofía, Teología y Derecho Canónico, hánse creado en la primera Cátedras de Astronomía, y sabido es que en España son muy pocos, por no decir ninguno, los libros didácticos de esta Ciencia, que sean aptos para servir de texto á

los jóvenes, que aspiran al Sacerdocio; unos por ser anteriores á importantes descubrimientos astronómicos; otros por su exposición puramente narrativa, y algunos, los menos, por suponer conocimientos de Matemáticas Superiores.

Teniendo en cuenta la anterior consideración; habiendo tocado prácticamente las dificultades que entraña el estudio de una Ciencia sin libro de texto, y no olvidando, por último, que el número 26 de los Estatutos, por que se rigen las Facultades en este Seminario, prescribe que los Profesores "usen de un libro impreso", me he determinado á que vea la luz pública en el presente volumen un compendio de mis explicaciones de Cátedra.

Réstame decir dos palabras sobre la ejecución de la obra.

El plan de exposición, que adopto, es exclusivamente mio, por parecerme que con él se hacen cargo más fácilmente de la estructura y de las leyes del Universo los que por vez primera estudian esta Ciencia. Para desarrollarlo he consultado cuantos libros, revistas y hasta discursos, así nacionales como extranjeros, han llegado á mis manos, y he procurado además que abunden las figuras y grabados, á fin de facilitar la inteligencia del texto.

¡Ojalá que el esfuerzo, que hago por amor á la educación de los que en el día de mañana serán Ministros del Evangelio, despierte en ellos el deseo de conocer á fondo las obras del Sublime Creador de la Naturaleza, de Dios nuestro Señor! Entonces, al leer en ese hermoso libro las grandezas de su Autor, apreciarán con nuevos y valiosos datos todo el anonadamiento y todo el amor, que envuelven la Encarnación del Divino Verbo y la Institución del Adorable y Augusto Misterio de la Eucaristía.

JERÓNIMO ARMARIO.



NOCIONES DE ASTRONOMIA



INTRODUCCION

Antes de penetrar en el campo propio de los estudios astronómicos son necesarias algunas nociones previas, que permitan hacerse cargo, siquiera sea de un modo general, del concepto é importancia de la Ciencia Astronómica; de las condiciones en que nos encontramos sobre la Tierra para su estudio; de los principales sistemas construidos y descubrimientos realizados por los astrónomos, y de los instrumentos y métodos de investigación, que se emplean para obtenerlos. De este modo es sumamente fácil aquilatar el valor de las teorías é hipótesis, que son tan frecuentes en esta clase de estudios y separar cuidadosamente lo cierto de lo falso, lo comprobado de lo hipotético.

CAPÍTULO I.

NOCIONES GENERALES.

1. ASPECTO DEL CIELO.—En una noche despejada el *cielo*, que también se llama *bóveda* y *esfera celeste*, se presenta á nuestra vista cubierto de innumerables puntos, más ó menos brillantes, que se designan vulgarmente con el nombre de *estrellas*, ó genéricamente con el de *astros*. Aunque parecen inmóviles, es muy fácil comprobar que esta inmovilidad no existe.

Supongamos que un observador se encuentra en nuestras latitudes, teniendo á su derecha la región del cielo por donde el Sol se oculta, y en un punto elevado desde el cual pueda abarcar una gran extensión de terreno.

La línea en que á su alrededor toca aparentemente el cielo con la tierra se llama *horizonte visual* ó *sensible*. Dirigiendo la vista en esta posición hácia su izquierda notará cómo los astros aparecen en el horizonte, ascienden gradualmente, se estacionan un momento en el punto más elevado de su trayectoria, comienzan á descender por la derecha, llegan al horizonte y desaparecen por último debajo de él.

Se llama *Oriente* ó *Levante* la región del cielo por donde aparecen los astros, y que está á la izquierda del observa-

dor; *Occidente ó Poniente* la situada á la derecha del observador y por la cual desaparecen los astros.

Orto ó salida de un astro es el momento en que aparece en el horizonte, como brotando de la tierra; *puesta* ú *ocaso* aquel en el cual desaparece de nuestra vista debajo del horizonte.

Si suponemos ahora que el observador se coloca en dirección opuesta, teniendo á su derecha el Oriente y el Occidente á su izquierda, la región del cielo, que ante su vista se presenta, también se encuentra tachonada de astros, en los que notará los mismos movimientos relativos, que en los anteriormente observados, aunque con las dos particularidades siguientes:

1.^a Unos, los que tienen orto y ocaso, se mueven de derecha á izquierda: esto es debido al cambio de posición del observador.

2.^a Otros no tienen orto ni ocaso; entre ellos se descubre uno, al parecer inmovil, la estrella Polar; á su alrededor se mueven los demás, que describen sus trayectorias, acercándose más ó menos al horizonte, pero sin desaparecer nunca debajo de él.

2. DEFINICIÓN DE ASTROS Y DE ASTRONOMÍA (1).—Las precedentes observaciones son también aplicables al Sol y á la Luna: se dá, pues, el nombre de *astros* al Sol, á la Luna y á todos los puntos brillantes, que tachonan el cielo ó bóveda celeste.

Astronomía es la ciencia, que tiene por objeto el estudio de los astros: comprende, pues, el conjunto de todos los co-

(1) El nombre adecuado para expresar la ciencia de los astros es el de Astrología, voz compuesta de las dos griegas *αστερ*, *πος* (astro) y *λογος*, *ου* (tratado, discurso). Mas teniendo en cuenta que los antiguos astrólogos estudiaban los astros con el fin de predecir no solo los acontecimientos futuros relativos á estos, sino también los referentes á la voluntad libre del hombre, el uso ha hecho que la palabra Astrología quede reducida á expresar ese arte quimérico de los antiguos agoreros, y que se emplee la de Astronomía, de la griega *αστρονομια*, para la ciencia real de los astros.

nocimientos, que se han adquirido, tanto para fijar en un momento determinado, y predecir para otro futuro, la posición de los astros en la esfera celeste, cuanto los que se refieren á los sistemas que forman, dimensiones y movimientos que tienen, leyes por que se rigen, estado físico en que se encuentran, y elementos químicos que los constituyen.

3. LA ASTRONOMÍA ES CIENCIA: LUGAR QUE LE CORRESPONDE ENTRE LAS DEMÁS CIENCIAS.—La palabra *ciencia* tiene tres acepciones: amplísima, amplia y estricta. En su acepción amplísima la palabra ciencia (del verbo latino *scire*, saber, conocer) significa cualquier conocimiento: en su acepción amplia, se llama ciencia á todo conocimiento cierto y evidente, ya sea inmediato, ya mediato; ora pertenezca al orden experimental, ora al racional: en su acepción estricta, solo se dá el nombre de ciencia al “conocimiento cierto y evidente de las cosas por sus causas,,” esto es, “adquirido por medio de la demostración.”

Que la Astronomía es verdadera ciencia, cualquiera que sea la acepción en que se tome la palabra ciencia, es una verdad innegable. Respecto de la primera no puede ocurrir ni la duda: con relación á la segunda no lo negará el que conozca algo esta clase de estudios, pues sabrá que en ellos hay conocimientos ciertos y evidentes; por ej., los referentes á los eclipses.

En su acepción estricta también es ciencia la Astronomía, puesto que muchas de sus conclusiones se han adquirido por verdadera y lógica demostración: tales son, por ej., las relativas á la posición de los astros en la esfera celeste; á las fases y movimientos de la Luna, y á los citados eclipses, etc.

Pudiera oponerse á esta doctrina que en la Astronomía hay teorías é hipótesis, que no están fundadas en demostración rigurosa, no lo negamos; pero sí negamos que de esta premisa se deduzca que la Astronomía no sea verdadera ciencia:

1.º Porque entonces no habría ciencia posible para el hombre mientras vive en la Tierra, puesto que, dada la li-

mitación de sus facultades, en todo orden de conocimientos hay muchas conclusiones, que no son rigurosamente científicas, esto es, ciertas, evidentes y perfectamente demostradas.

2.º Porque además del método científico ó demostrativo empleado en la Astronomía, como ciencia subalternada á las Matemáticas, también se usa el de inducción analógica, como subalternada á la Física, y en este método son necesarias hipótesis y teorías, que, aunque no expresen científicamente el orden real verdadero de los seres, traten sin embargo de explicarlo convenientemente, á fin de que ulteriores adelantos, las confirmen, si son verdaderas; las modifiquen, si son incompletas; ó las rechacen, si resultan falsas.

Por otra parte, muchas de estas hipótesis y teorías son dignas de admiración y de alabanza, por cuanto significan un esfuerzo más de los muchos, que ha hecho en el transcurso de los siglos, y hace en la actualidad la razón humana para llegar al conocimiento de la verdad.

Hemos dicho *muchas* y no *todas*, porque no podemos admirar ni alabar aquellas hipótesis y teorías, que se oponen más ó menos directamente á la doctrina católica; antes bien las rechazamos y anatematizamos como contrarias á la verdad y á la razón. Nos fundamos para raciocinar de este modo en que la doctrina católica está en plena posesión de la razón y de la verdad; por consiguiente toda hipótesis ó teoría que se oponga á la doctrina católica se opone también á la verdad y á la razón.

Entre las diversas clasificaciones, que se han hecho de las ciencias humanas, adoptamos como más conforme á la razón la de Sto. Tomás de Aquino, quien las clasifica genéricamente por el diverso grado de abstracción que exigen, como puede verse en el siguiente cuadro:

El entendimiento humano al estudiar los seres, para conocer la verdad y adquirir la ciencia;	1°	Abstrae de la materia individual; esto es, considera los seres materiales y sensibles en lo que tienen de común, prescindiendo de las notas, que los individualizan; <i>ens mobile</i>	} Ciencia Física.
	2°	Abstrae de la materia individual y de la sensible; esto es, considera los seres materiales y sensibles, en cuanto son extensos; <i>ens quantum</i>	} Ciencia Matemática.
	3°	Abstrae de toda materia; esto es, considera al ser inmaterial, bien lo sea por abstracción, bien por naturaleza; <i>ens immateriale</i>	} Ciencia Metafísica.
	4°	Abstrae de toda materia, y aún de la realidad natural del objeto; esto es, lo considera por la reflexión ya	{ en el acto del que lo conoce; <i>ens rationis</i> . } { en el acto del que lo apetece; <i>ens morale</i>. }	} Ciencia Lógica. } Ciencia Moral.

Cada una de las cinco ciencias primarias indicadas comprende otras numéricamente distintas entre sí. De estas, unas son partes de la primaria correspondiente, como la Aritmética, el Algebra, la Geometría etc., respecto de la Matemática; la Cosmología, la Física Moderna, la Química, la Geología etc., respecto de la Física; y otras dependen de las primarias en cuanto que de ellas reciben sus principios, como la Medicina con relación á la Física.

Hay entre estas últimas algunas ciencias que dependen de dos primarias, como la Mecánica, respecto de la Matemática y de la Física. Y este es, según nos parece, el lugar propio de la Astronomía: esta ciencia recibe y aplica los principios de la Matemática y de la Física hasta tal punto, que, si hoy podemos admirar las magnificencias del Universo, se debe á los grandes progresos realizados por Físicos y Matemáticos en sus ciencias respectivas.

4. IMPORTANCIA Y UTILIDAD DE LOS ESTUDIOS ASTRONÓMICOS. — Pocas palabras bastarán para evidenciar esta verdad. Enclavado el hombre en un punto de la escala inmensa de los seres, lo puramente individual no satisface á su espíritu; desea salir de la atmósfera que le rodea; recorrer los espacios; observar lo que pasa en esos remotos mundos; sorprender, si le fuese posible, la ley general, que preside al desenvolvimiento del Universo material; conocer el conjunto sublime de que él forma una pequeñísima parte, y apoderarse de la ley, que sustenta la inefable armonía que rige en todas sus partes á la Creación.

Y si bien es cierto que Dios nuestro Señor parece haber reservado estas dulces alegrías, estos purísimos goces, para el momento en que nuestro espíritu, libre de la envoltura material, que llamamos cuerpo, penetre en las regiones de la vida y de la luz, en la *Gloria*; también lo es que el estudio de la Astronomía nos dá á conocer la fraternidad de los mundos, al enseñarnos que en ellos hay unidad de materia y de fuerza; nos permite asistir á las evoluciones de la materia, desde sus primeros esbozos, que se manifiestan en las nebulosas, hasta su necrópolis, que puede considerarse en los cráteres mudos y solitarios de la Luna; y por último nos acerca más á Dios, cuyo poder, sabiduría, amor, belleza y demás perfecciones infinitas se reflejan de un modo especial en el Universo.

Así no es de extrañar que, preguntado Anaxágoras, si su patria le era indiferente, contestase señalando al Cielo: “Nó, me ocupo de ella siempre y creo que no estoy en el mundo más que para observar el sol, la luna y todo el Cielo:” (1) que en el túmulo del P. Secchi se haya puesto la inscripción: “A coeli conspectu ad Deum via brevis;” y por último, que Su Santidad Leon XIII se exprese en los siguientes términos: “Æminet in hoc scientiarum (naturalium) numero Astronomia, quippe cui ea proposita sunt vestiganda, quae

(1) Citado por D. Augusto T. Arcimis, *El Telescopio Moderno*, tomo I. Introducción.

prae caeteris inanimis rebus enarrant gloriam Dei, ac viro-
rum omnium sapientissimum mirifice delectabant, qui lu-
mine divinitus indito nosse se laetabatur imprimis “anni
cursus et stellarum dispositiones.” (1)

Hay otra consideración, que deben tener muy en cuen-
ta los católicos y con especialidad los jóvenes que se diri-
gen al Sacerdocio. El estudio de la Astronomía, como el de
todas las ciencias naturales, tan útil y hermoso en sí mismo,
se ha convertido en ariete formidable contra la doctrina
Católica por los enemigos de la Iglesia, y menester es que
los que se encuentren con disposiciones acudan á la lid,
salten á la arena, y luchen y combatan y defiendan las en-
señanzas de la Fé con las mismas armas con que son ata-
cadas.

(1) Citados por el P Müller, *Compendio di Astronomia*. pág. 5.

CAPÍTULO II.

NOCIONES PRÉVIAS SOBRE LA TIERRA.

Preséntasenos á primera vista la tierra, como si su superficie fuese plana é ilimitada en todas direcciones, y su masa indefinida en profundidad. Esta idea es completamente falsa, como vamos á demostrar.

5. LA SUPERFICIE DE LOS MARES ES CONVEXA. — Basta, para convencerse de ello, observar un buque cuando se acerca á la costa (*Fig. 1.^a*); lo primero que de él se divisa es la



FIG. 1.^a. — CONVEXIDAD DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

parte superior (extremidad de los palos, chimenea, humo que arroja etc., etc.) Al aproximarse más se notan perfecta-

mente el puente, la cubierta y el casco, y así, viéndose todo entero llega á la costa.

Si el buque se alejase de tierra, se observarían los mismos fenómenos, aunque invertidos. Se le vería subir sobre la superficie del mar; alcanzar la línea, que forma el límite aparente y desaparecer poco á poco, comenzando á ocultarse su casco, y concluyendo por la parte superior (chimenea y extremidad de los palos). Si en este momento el observador, que se encuentra en la costa, pudiera elevarse, por ej., subir á una torre, vería nuevamente el buque (*Fig. 2.^a*), que al cabo de un rato concluiría por desaparecer.



FIG. 2.^a—CONVEXIDAD DEL MAR.

Prueban estos hechos que la superficie de los mares es convexa, puesto que, si fuese plana, el buque sería visible y visible en su totalidad, mientras estuviese al alcance de la vista del observador, no existiendo razón alguna, que explicase su ocultación progresiva, comenzando por la parte inferior y terminando por la superior: suceden pues estos hechos, porque la convexidad del mar se interpone entre el buque y el observador.

Los mismos fenómenos se observan desde el buque, ya con relación á los objetos situados en tierra, ya con relación á otros buques que cruzan el mar; por esto los vigías de los barcos se colocan en las cofas, que, estando más elevadas que la cubierta y el puente, permiten divisar los objetos á mayores distancias.

6. LA SUPERFICIE TERRESTRE DEL GLOBO ES CONVEXA.—
Para evidenciarlo, pueden aducirse varias razones:

1.^a En las grandes llanuras se observan los mismos fenómenos, que hemos hecho notar respecto de la superficie

de los mares, en los objetos que se alejan ó se aproximan al observador.

2.^a En ninguna costa, cualquiera que sea la que se elija en el globo, el nivel de la parte sólida es mucho más elevado que el nivel de las aguas: estas, que rodean por todas partes á los continentes, y que en algunos puntos penetran hasta muy adentro de ellos, tienen una superficie convexa; es pues evidente que los continentes participan de la convexidad de los mares, al menos en sus contornos.

3.^a Numerosos arroyos, ríos y canales cruzan los continentes en todas direcciones; examinándolos con atención, se nota que de ordinario los más grandes ríos presentan poca rapidez en su corriente, lo cual indica que la pendiente de su álveo es muy débil, y que la superficie del agua está en ellos, casi al mismo nivel que la de los mares más próximos: podemos pues deducir de estos hechos, que los continentes participan en toda su extensión de la convexidad de los mares.

No se diga, en contra de lo que hemos afirmado, que hay en la parte sólida de la tierra grandes cordilleras y montañas, cuyos picos se elevan á miles de metros sobre el nivel del mar, porque la altura de estas montañas, aunque considerable en sí misma, no lo es en relación con las grandes distancias, que pueden recorrerse en la superficie de la tierra y con la gran longitud del radio terrestre: son las montañas, para valernos de un ejemplo sensible, lo que un grano de arena sobre un globo de un metro de diámetro.

7. COMPROBACIÓN DE LA REDONDEZ DE LA TIERRA: VIAJES DE CIRCUMNAVEGACIÓN.—A) La redondez de la Tierra puede además comprobarse con los siguientes hechos:

1.^o Caminando hacia el Sud, la estrella polar (núm. 1) desciende sobre el horizonte, llegando un momento, en que desaparece debajo de él; por la inversa, dirigiéndose hacia el Norte se eleva cada vez más, y llegaría á colocarse sobre la cabeza del observador, si este no se viese detenido en su marcha por los hielos perpétuos de las regiones árticas.

2.^o El horizonte sensible (núm. 1) es más ó menos extenso, según que es mayor ó menor la altura del observador

sobre el nivel del mar, y afecta *siempre y en todas partes* una forma *perfectamente circular*.

3.º También es *perfectamente circular* la sombra, que la Tierra proyecta sobre la Luna en los eclipses de ésta.

Para explicar satisfactoriamente estos hechos, es necesario admitir que la forma de la Tierra es redonda, esto es, sensiblemente esférica, puesto que la esfera es el único cuerpo que puede responder á lo que exigen los mencionados hechos.

B) Compruébase, por último, la redondez de la Tierra con los viajes de circunnavegación, en los cuales, caminando *siempre* en la misma dirección, se vuelve al punto de partida (1).

8. AISLAMIENTO DE LA TIERRA EN EL ESPACIO: POSIBILIDAD DE SUS MOVIMIENTOS.—A) De la doctrina establecida sobre la redondez de la Tierra se deduce lógicamente su aislamiento en el espacio (*Fig. 3.^a*)

La hipótesis de uno ó más soportes no es admisible, puesto que semejante sostén exigiría otro; este á su vez reclamaría la existencia de uno nuevo, y así sucesivamente hasta llegar á infinitos soportes, lo que es imposible. Por otra parte; atrevidos viajeros han explorado nuestro globo en todas direcciones, y ninguno ha notado la existencia de dicho sostén, que, de existir, sería material, estaría dotado de dimensiones colosales, y habría de tocar necesariamente en uno ó más puntos de la superficie terrestre.

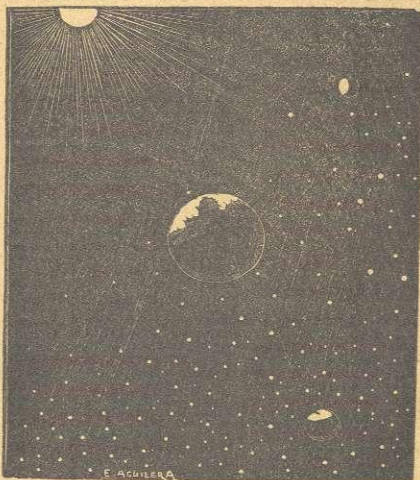


FIG. 3.^a.—LA TIERRA AISLADA EN EL ESPACIO.

(1) El primero que efectuó un viaje de circunnavegación, fué el piloto español Juan Sebastián Elcano, natural de Guetaria en Guipúz-

Suelen no comprender los poco versados en las ciencias físicas, cómo este globo aislado en el espacio y los objetos situados en su superficie *no se caen*. Originase esta dificultad de no tener una idea clara de *la caída* de los cuerpos. Solamente puede decirse que un cuerpo *cae*, cuando es atraído por otro y esta atracción no está contrarrestada por alguna otra fuerza: así, al lanzar una piedra al espacio, sube en



Fig. 4.ª
Plomada

virtud del impulso, que se le comunica, y solo puede afirmarse que *cae*, cuando ha perdido el impulso por el continuo rozamiento con las capas aéreas y por la acción de la *gravedad*, fuerza que actuando en la dirección de la plomada (Fig. 4.ª), atrae los cuerpos hácia el centro de la tierra. Ahora bien; como la gravedad actúa en todos los puntos de la superficie del globo, todos los cuerpos, que están en esta superficie, son atraídos hácia el centro de la tierra por dicha fuerza, y por consiguiente ninguno puede *caer* hácia los espacios.

Tampoco puede *caer* la Tierra; en todo caso *su caída*, sería hácia el astro que la atrae con más intensidad, hácia el Sol; pero están tan bien equilibradas las fuerzas que la mantienen en el espacio, que no debe abrigarse temor alguno de que semejante trastorno se realice.

B) Estando, pues, la Tierra aislada en el espacio, es evidente que se encuentra en las condiciones más favorables, para moverse tan pronto como una fuerza cualquiera actúe sobre ella.

9. BREVES NOCIONES SOBRE LA ATMÓSFERA TERRESTRE Y SOBRE LA REFRACCIÓN ATMOSFÉRICA. A) *Atmósfera*.—Es la capa gaseosa, que rodea nuestro globo en toda su extensión.

coa. Salió este ilustre español de Sevilla en 10 de Agosto de 1519 en la expedición que capitaneaba Magallanes, portugués de nacimiento y al servicio de Carlos V, rey de España. Después de 70 días que las calmas ecuatoriales les obligaron á pasar en el Océano Atlántico, arribaron á las costas del Brasil y, dirigiéndose al Sur, cruzaron la América

Tres son los principales problemas que acerca de la atmósfera, en sí misma considerada, tratan de resolver físicos y astrónomos: presión que ejerce sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, altura que tiene y elementos químicos que la constituyen.

1.º *Presión atmosférica.*—Pruébase en primer lugar que el aire es *pesado*, tomando un globo de cristal y pesándolo sucesivamente lleno de aire y vacío; la diferencia que se obtiene entre ambos pesos es el del aire. Así se ha probado que un litro de aire seco á la temperatura de 0º y á la presión de 0^m,76 pesa 1^{gr}, 3.

Siendo el aire pesado, la atmósfera debe ejercer una presión sobre los objetos situados en la superficie terrestre. Esta deducción teórica se prueba experimentalmente de muy distintos modos. Los *hemisferios de Magdeburgo* comprueban la existencia de esta presión en todos sentidos.

Son dos hemisferios de cobre huecos (*Fig. 5.^a*), cuyos bordes llevan cuidadosamente ajustada una tira anular de cuero engrasado: uno de estos hemisferios lleva una llave, que puede atornillarse á la platina de la máquina pneumática, y el otro un anillo, para cojerlo y tirar. Extraído de su interior el aire atmosférico se adhieren tan fuertemente en virtud de la *presión atmosférica exterior* que no es posible separarlos sin un esfuerzo muy considerable.

El valor de la presión atmosférica se mide por medio del *barómetro*.

El de *sifón* ideado por Gay-Lussac consta de un tubo doble-



FIG. 5.^a
Hemisferios.

por un estrecho que encontraron entre la Patagonia y la Tierra del Fuego, estrecho, que conserva el nombre de su inmortal descubridor. Ya en el Océano Pacífico, navegaron por él durante cuatro meses experimentando innumerables fatigas, miserias y terribles privaciones, hasta que abordaron por último á la isla de Matan en las Filipinas, donde fue

mente encorvado (*Fig. 6.^a*), de ramas desiguales, cerrada la mayor, y en comunicación con la atmósfera la menor. El mercurio se ha introducido en el tubo de tal manera que el espacio que queda sobre aquel en la rama larga está vacío de toda materia ponderable; este espacio se llama *cámara barométrica*.



Así dispuesto el barómetro, es evidente que la presión atmosférica ejercida sobre el mercurio en la rama corta es lo que lo sostiene elevado en la rama larga: la presión atmosférica está pues definida por la diferencia de nivel entre ambas ramas. Esta diferencia es al nivel del mar de 0^m, 76; por consiguiente el valor numérico de la presión atmosférica es igual en este caso al peso de 76 centímetros cúbicos de mercurio, esto es, 1^{kg}, 033.

2.^o *Altura de la atmósfera.*—Háse calculado valiéndose para ello de observaciones de presión y de temperatura, de los crepúsculos, y de otros procedimientos especiales en 48, en 60 y hasta en centenares de kilómetros. Según Quetelet la atmósfera se divide en dos partes; una compuesta principalmente de oxígeno y de nitrógeno, que no alcanza un espesor mayor de 10 ó 12 leguas, y otra sumamente enrarecida sobre la anterior, que puede elevarse hasta unas 80 leguas.

FIG. 6.^a
Barómetro
de sifón.

Sea de esto lo que quiera, es evidente que la atmósfera debe tener un límite, puesto que la fuerza elástica de los gases que la constituyen, está en razón inversa de su dilatación, y además la atmósfera es atraída por la acción de la gravedad hacia el centro de la Tierra.

muerto Magallanes por los naturales. Tomó entonces el mando Sebastian Eicano, y atravesando el mar de la Sonda, dobló tras penosísima navegación el Cabó de Buena Esperanza, llegando por último á Sanlucar de Barrameda en 7 de Septiembre de 1522, como si viniese de Oriente, realizando de este modo la hazaña estupenda de dar la vuelta al mundo. Carlos V dió á Eicano por divisa un globo terrestre con este lema: «*Primus me circumdedisti.*»

3.º *Constitución de la atmósfera.*—Hasta hace poco tiempo se consideraba el aire atmosférico como una *mezcla* gaseosa de oxígeno y de nitrógeno en cantidades constantes; de ácido carbónico y de vapor de agua en cantidades variables, y de otras sustancias, encontradas por el análisis químico, en proporciones insignificantes.

En cada 100 volúmenes de aire, 21 eran de oxígeno y 79 de nitrógeno: en 10.000 volúmenes la cantidad de ácido carbónico oscilaba entre 3'3 y 5'3, estando sujeta á mayores variaciones la cantidad de vapor de agua.

Así se explicaba la constitución de la atmósfera, hasta que dos químicos ingleses, Lord Reileig y William Ramsay, observando que la densidad del nitrógeno, extraído del aire, era mayor que la del procedente de compuestos químicos, se dedicaron con ardor á investigar la razón de este fenómeno. Fué el resultado de sus investigaciones descubrir en el aire atmosférico un nuevo elemento ó cuerpo simple, al que dieron el nombre de *argon* "inactivo," por su poca afinidad en relación con los demás elementos.

Mas tarde, el 18 de Febrero de 1897, los Sres. Müntz y Schloesing, hijo, valiéndose de un globo y de un aparato de M. Cailletet, analizaron el aire atmosférico á 15.000 metros de altura, obteniendo los datos siguientes, de los cuales dieron cuenta á la Academia de Ciencias de París, en la sesión de 8 de Marzo del mismo año:

En 100 volúmenes de aire	
Acido carbónico	0'033
Oxígeno	20'79
Nitrógeno	78'27
Argon	0'97
	<hr/>
	100'063

Aparte de otras causas de error, que omitimos, nótase, inspeccionando el cuadro anterior, que el resultado no fué del todo satisfactorio, y así lo confesaron los aeronautas; pero en cambio quedaba de nuevo comprobada la existencia del *argon*.

Continuando el estudio del aire, el citado William Ramsay y Morris W. Travers, han creído encontrar en él un nuevo elemento, el cual, al decir de los mencionados químicos, es menos volátil que el oxígeno, el nitrógeno y el argón y más pesado que este último: han propuesto que se le llame *kriptón*, “oculto..”

B) *Refracción atmosférica.*—Se llama refracción el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso, al pasar oblicuamente de un medio á otro de diferente densidad ó de diferente naturaleza.

Se prueba en Física que, al desviarse el rayo luminoso de su dirección primitiva, se acerca á la normal en el punto de incidencia, si el medio á que pasa es de mayor densidad; que se separa en el caso contrario, y que no sale nunca del plano perpendicular á la superficie de separación de los dos medios; plano que contiene al rayo luminoso en su dirección primitiva.

Así, supongamos que AB (Fig. 7^a) es la intersección del

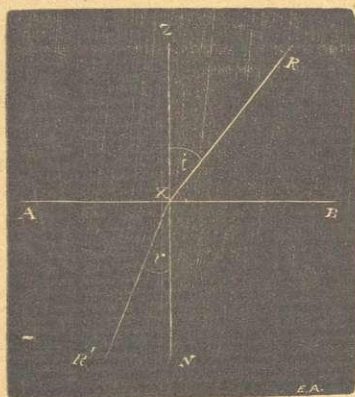


Fig 7.^a—REFRACCIÓN.

plano perpendicular y del plano tangente á la superficie de separación de los dos medios; ZN la normal á dicho plano en el punto x ; RR' el rayo luminoso, y x el punto de incidencia. Mientras el rayo luminoso atraviesa el primer medio, su propagación se hace en línea recta, Rx ; mas al llegar al punto x se desvía de su dirección y toma la xR' , acercándose á la normal, por suponerse el segundo medio de más densidad que el primero. El ángulo ZxR se llama ángulo de incidencia, y el NxR' ángulo de refracción.

La ley general de la refracción se contiene en la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r} = n$$

en la que n , que recibe el nombre de *índice de refracción*, es una cantidad constante para cada dos medios.

La diferencia entre los ángulos de incidencia y de refracción $i - r$ es el valor de la refracción, que aumenta ó decrece, según que i aumenta ó disminuye, siendo nulo cuando i es igual á 0 . Así se explica por qué no se refracta un rayo luminoso, que sigue la dirección de la normal.

Supuestas las anteriores nociones, obsérvese que un rayo luminoso, que atraviesa la atmósfera, puede proceder de un objeto terrestre, y como tal situado dentro de la atmósfera, ó de un astro que se encuentra fuera de ella: en ambos casos hay refracción atmosférica, puesto que la atmósfera puede considerarse dividida en capas concéntricas á la superficie terrestre, las cuales son más ó menos densas, según que están más ó menos próximas á dicha superficie. La refracción atmosférica, que experimenta el rayo luminoso, que procede de un objeto terrestre, se llama *refracción terrestre*; la que experimenta un rayo luminoso, que procede de un astro al penetrar oblicuamente en la atmósfera, *refracción astronómica*.

Prescindiendo de la refracción atmosférica terrestre por no interesar directamente al astrónomo, procuremos formarnos una idea clara de la astronómica.

Sea A (Fig. 8.^a) un astro, que emite rayos luminosos en todas direcciones; uno de ellos llega á la atmósfera terrestre en a y se refracta, acercándose á la normal aT ; al llegar á b , que representa otra de las capas de

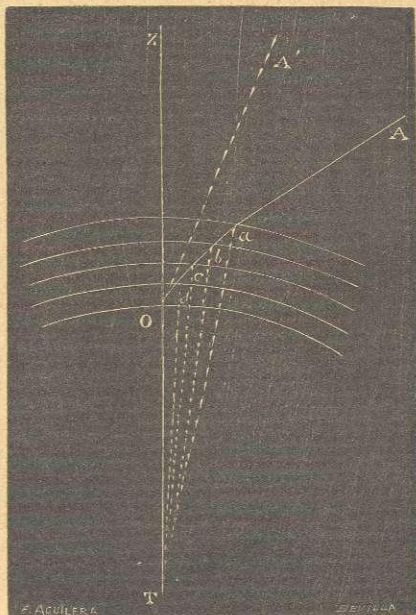


FIG. 8.^a
Refracción Atmosférica.

la atmósfera, se refracta nuevamente, acercándose á la normal bT ; y así continúa, refractándose en las distintas capas atmosféricas, hasta que llega al ojo del observador, que suponemos en O , quien vé al astro en la dirección OA' y como si estuviese en A .

10. INFLUENCIA DE LA REFRACCIÓN EN LAS OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS.—Lo que queda consignado acerca de la refracción nos dá á conocer que los astros no se vén en su *posición verdadera* sobre la esfera celeste, sino en una *posición aparente*. Ahora bien; como al astrónomo lo que principalmente interesa es la posición verdadera de los astros, hácese necesario investigar que efectos produce la refracción; en que observaciones se experimentan, y, ya que no puedan evitarse, cómo puedan y deban corregirse dichos efectos.

El estudio completo de estos puntos no tendría razón de ser en este lugar, desconociéndose, como se desconocen todavía, los datos y términos técnicos necesarios para su perfecto desenvolvimiento. Los estudiaremos más adelante, cuando se tengan los conocimientos mencionados. Baste saber por ahora, que, como se observa en la figura 8.^a, el efecto general, que produce la refracción astronómica, es elevar un poco más al astro en el plano vertical, que lo contiene, pero sin salir de él.



CAPÍTULO III

NOCIONES SOBRE LOS PRINCIPALES SISTEMAS Y DESCUBRIMIENTOS ASTRONÓMICOS

Nótase, al estudiar la historia de la Astronomía, que puede cómodamente dividirse en dos grandes periodos, informado cada uno por una idea fundamental. Suelen llamarse *Astronomía Antigua* y *Astronomía Moderna*. Informado el primero por la idea de que la Tierra es el centro del Universo, comienza en los orígenes de la Historia y termina al publicar Copérnico su obra "*De revolutionibus orbium coelestium libri sex.*" (1543). Da principio al segundo este notabilísimo hecho y aún no ha terminado: lo informa la idea de que en el gran concierto del Universo el Sol es el centro de un sistema particular y la Tierra uno de los astros que forman este sistema.

ARTÍCULO I.

PRIMER PERIODO.—ASTRONOMÍA ANTIGUA.

11. CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS DE LOS PUEBLOS ANTIGUOS.—Muy poco es lo que se sabe acerca de este punto. Parece que las más antiguas observaciones proceden de la

China, donde unos 2.000 años antes de nuestra era se cultivaba la Astronomía como base de las ceremonias religiosas (1). Atribúyese á los Caldeos el descubrimiento del periodo llamado *saros*, esto es, un periodo de 223 lunaciones, al cabo de las cuales la luna se encuentra próximamente en las mismas posiciones con relación al Sol y á la Tierra. Menos sabemos de los Indios y de los Egipcios: sus conocimientos en esta materia han quedado envueltos en la oscuridad de aquellos remotos tiempos, ó han llegado hasta nosotros revestidos de formas mitológicas, muy difíciles de interpretar.

Llegamos al pueblo Hebreo. Aquellos de sus Libros Sagrados que la Autoridad infalible de la Iglesia Católica ha reconocido y declarado inspirados por Dios, han sido atacados por los incrédulos y herejes con toda clase de armas y de conocimientos; pero, como no podía menos de suceder, en todos los terrenos los enemigos de la Iglesia han sido batidos y derrotados (2).

Por lo demás no debe buscarse en esos Libros Sagrados un sistema completo de Astronomía: Dios nuestro Señor no los ha inspirado precisamente para enseñar á los hombres las Ciencias humanas, sino la ciencia más sublime y necesaria de la salvación eterna. Así es que solo se encuentran en las Sagradas Escrituras los conceptos más fundamentales. En ellas se afirma la creación (3), la providencia y el gobier-

(1) Tisserand, *Leçons de Cosmographie*, pag. 237.

(2) Pueden consultarse con relación á este punto «*La Biblia y la Ciencia*» del Cardenal Gonzalez, «*La Bible et les Découvertes Modernes*» y «*Les Livres Saints et la Critique rationaliste*» de Mr. Vigouroux, «*Egipto y Asiria resucitados*» de D. Ramiro Fernandez Valbuena, «*Religión y Ciencia*» del Ilmo. P. Tomás Cámara, «*La Religión católica vindicada de las imposturas racionalistas*» del P. Mendive, «*La Ciencia y la Divina Revelación*» de D. Juan M. Orti Lara, «*Manual de Arqueología Prehistórica*» de D. Manuel de la Peña y Fernandez etc.

(3) In principio creavit Deus coelum et terram—Gen. I, 1.—Ipse dixit et facta sunt; ipse mandavit et creata sunt—Psal. CXLVIII, 5.—Neque enim ego spiritum et animam donavi vobis et vitam... sed enim mundi Creator... Peto, nate, ut aspicias ad coelum et terram et ad omnia quae in eis sunt: et intelligas quia ex nihilo fecit illa Deus, et hominum genus.—II Mac. VII, 22, 23 y 28.

no de todo el Universo por el Ser Infinito, por Dios (1).

Y si á alguno pareciere extraño que los Autores inspirados hablen con el lenguaje de sus contemporáneos *de los movimientos del sol, de los astros, etc.*, tenga en cuenta, y desaparecerá su extrañeza, que los astrónomos modernos emplean el mismo lenguaje aún en los libros en que prueban que dichos movimientos son meras apariencias (2).

12. ESCUELA GRIEGA.—En las enseñanzas astronómicas de los sabios griegos encontramos conocimientos más científicos que los de sus antecesores, aunque todavía incompletos, inexactos y hasta erróneos. Aparece ya clara la división fundamental de los astros en dos grandes grupos: *estrellas fijas* ó simplemente *estrellas* y *astros errantes* ó *planetas* (3). Forman el primero los astros que conservan constantemente entre sí las mismas posiciones y distancias, cualquiera que sea el tiempo empleado en observarlos (núm. 1); constituyen el segundo los que no conservan entre sí las mismas posiciones y distancias, antes por la inversa cam-

(1) *Æqualiter cura est illi (Deo) de omnibus.*—Sap. VI, 9.—*Non est alius Deus, quam tu; cui cura est de omnibus*—Ibid. XII, 13.

Tu autem, Pater, gubernas omnia providentia. Sap. XIV, 3.—*Attingit a fine usque in finem fortiter et disponit omnia suaviter.* Ibid VIII, 1.—*Tu autem Dominator... cum magna reverentia disponis nos.* Ibid. XII, 18.—*Domine Deus, Rex Omnipotens in dictione tua cuncta sunt posita et non est qui possit resistere tue voluntati.* Esther, XIII, 9.—*Corripe me, Domine... ne forte ad nihilum redigas me.* Jerem. X, 24.

(2) Del resto gli scrittori sacri, seguono il modo di parlare del loro tempo, appunto come fanno gli stessi Astronomi moderni, non solamente in conversazione con uomini che ignorano questa scienza, ma nei loro libri e trattati astronomici, parlando dell'*orbita solare* del *levarsi* degli astri e del loro *tramonto*, del *pasaggio* dei medesimi pel meridiano ecc. mentre tutte queste cose sono (come ben sanno) mere apparenze. Ma dall' uso di un tal linguaggio non si può inferire poco ó niente per la realta delle cose.—P. Müller *Compendio di Astronomia*, pag. 288.

(3) Los griegos dieron el nombre de *planetas* á todos los *astros errantes*, incluyendo en ellos al Sol y á la Luna.

bían de lugar con relación á las estrellas en virtud de movimientos propios.

También se encuentra en ellos la distribución de las estrellas en grupos llamados *constelaciones* ó *asterismos*; esta distribución facilitaba á aquellos astrónomos orientarse en el estudio de la esfera celeste; seguir los movimientos aparentes de los planetas; procurar explicárselos, y construir sistemas que expresasen la disposición del Universo.

Merecen especial mención Tales de Mileto, Anaximandro, Sócrates, Platón, Aristóteles y sobre todo desde el punto de vista astronómico, Pitágoras y sus discípulos.

Nació Pitágoras en Samos por los años 582 antes de la era cristiana. Después de oír las lecciones de los maestros de su patria, viajó por el Egipto, la Persia, y hasta por la India y la China, estableciendo por último su escuela en Crotona, Italia (1).

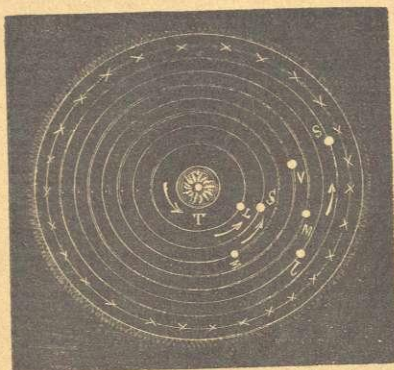


FIG. 9.^a—SISTEMA PITAGÓRICO.

En la escuela de Pitágoras se dió por primera vez al mundo el nombre de *κοσμος*: su sistema astronómico llamado *pitagórico* y desarrollado por Filolao puede condensarse en las siguientes líneas:

En el centro del *κοσμος* (mundo), está el fuego central (Fig. 9.^a); al rededor de este se mueve la Tierra, que se divide en dos partes, superior (*χθων*) é inferior (*αντιχθων*) (2) y que produce con su movimiento el día y la noche; después los planetas en éste orden; la Luna, el Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Circunscribe á todos los planetas el cielo estrellado inmóvil, y por último la esfera que constituye el Olimpo.

(1) Cardenal González.—*Historia de la Filosofía*, tom. 1.^o, página 138.

(2) Entre ambas partes colocaban el fuego central (*εστια*).

Debe tenerse muy en cuenta que para los Pitagóricos no era el Sol el centro del movimiento, como creen algunos, sino el fuego central; por consiguiente no enseñaron la traslación de la Tierra al rededor del Sol.

13. ESCUELA DE ALEJANDRÍA.—Fundada esta célebre Ciudad por Alejandro Magno á su paso para el Egipto, tocó en suerte á Tolomeo Soter uno de los capitanes que á la muerte del guerrero de Macedonia se repartieron sus Estados.

Por su excelente posición topográfica y por la decidida protección que Tolomeo Soter dispensó desde luego á los hombres de ciencia y de letras, Alejandría obtuvo muy pronto la hegemonía comercial, científica y literaria en el mundo entonces conocido. La inmensa y rica biblioteca que poseía su famoso *Museum* ó Universidad, ofrecía materiales en abundancia para todos los gustos. Así no es de extrañar que acudieran á Alejandría los sabios de todas partes, y que en ella progresaran todas las ciencias. Entre sus astrónomos, Aristarco de Samos concibe un sistema *heliocéntrico* en el cual la Tierra gira al rededor de sí misma y al rededor del Sol; Eratóstenes dá la primera medida de la magnitud de la Tierra; Hiparco construye el primer globo celeste, redacta el primer catálogo estelar, reconoce la desigualdad de las estaciones, descubre la precesión de los equinoccios é inventa las coordenadas terrestres *longitud* y *latitud* para fijar la posición de un lugar cualquiera sobre la Tierra, etc.

14. EXPOSICIÓN DEL SISTEMA DE TOLOMEO.—El sistema heliocéntrico de Aristarco de Samos (núm. 13) no tuvo aceptación, antes bien su autor fué acusado de haber turbado la tranquilidad de Vesta; en cambio las ideas de que la Tierra ocupaba el centro del Universo y de que el movimiento circular uniforme era el más perfecto, adquirieron tanta importancia en Alejandría que con ellas y con la introducción de los *epiciclos* construyó el Rey de Egipto, Claudio Tolomeo, á mediados del siglo II de nuestra era, el sistema que hasta

hoy ostenta al frente su nombre y que vamos á exponer con brevedad.



FIG. 10.—SISTEMA DE TOLMEO.

Según Tolomeo, la Tierra está inmóvil y ocupa el centro del Universo (*Fig. 10*); á su alrededor se mueven todos los planetas en el orden siguiente: la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Envuelve las órbitas de todos los planetas el cielo estrellado ó esfera celeste.

Como se observa inspeccionando la figura, la Luna y el Sol se mueven describiendo su centro un círculo al rededor de la Tierra. No sucede lo mismo en los movimientos de Mercurio, Venus, etc. Cada uno de estos astros se mueve en el espacio describiendo un círculo (*epiciclo*), el centro del cual describe otro círculo al rededor de la Tierra. El centro de los epiciclos correspondientes á Mercurio y á Venus se encuentra siempre en la línea TS, que une el centro de la Tierra con el del Sol. Para Marte, Júpiter y Saturno, exteriores á la órbita solar, la línea que une el centro del planeta con el centro de su epiciclo ha de ser siempre paralela á la línea TS.

Con el sistema de Tolomeo termina el primer periodo de la Historia de la Astronomía, puesto que dicho sistema domina entre los Romanos, Arabes y pueblos de la Edad Media. Ni los Arabes que tradujeron á su idioma el *Almagesto* de Tolomeo, ni D. Alfonso el Sabio que hizo construir las *Tablas Astronómicas ó Alfonsinas*, para que sirviesen de texto en las Universidades, modificaron el sistema Tolemáico, que siguió rigiendo en las Escuelas hasta muy entrado el segundo periodo, merced al gran renombre y autoridad de su célebre autor.

ARTICULO II.

2.º PERIODO.—ASTRONOMÍA MODERNA.

15. PREDECESORES DE COPÉRNICO.—Hemos dicho que el sistema escogitado por Aristarco de Samos (núm. 13) no tuvo aceptación entre sus contemporáneos. Pues bien, al alborar la Edad Moderna, el Cardenal Nicolás de Cusa se separó del sistema de Tolomeo y afirmó que el centro del movimiento en el sistema planetario no era la Tierra ni aún otro cuerpo celeste, sino un punto matemático al rededor del cual giraban el cielo estrellado, la tierra y el sol.

Este y los dos astrónomos alemanes Jorge Purbach y Juan Müller, más conocido por Regiomontano, pueden muy bien considerarse como predecesores de Copérnico.

16. NICOLAS COPÉRNICO: EXPOSICIÓN DE SU SISTEMA.—Nació Copérnico en Thorn (Prusia), según unos en 1473, y en 1475 según otros. Estudió filosofía, medicina y lengua griega dedicándose con ardor á las matemáticas, y con especialidad á la parte astronómica. En Roma desempeñó á principios del siglo XVI una cátedra de Matemáticas con lecciones de Astronomía. Vuelto á su patria obtuvo en Worms un canonicato.

Dotado de gran constancia y laboriosidad, Copérnico empleaba el tiempo que le dejaban libre sus ocupaciones eclesiásticas en investigaciones astronómicas. De este modo llegó á concebir su sistema heliocéntrico que publicó en su célebre obra "*De revolutionibus*," etc. en 1543, dedicándola al Sumo Pontífice Paulo III.

Para Copérnico el Sol ocupa el centro del sistema (Figura 11); á su al rededor se

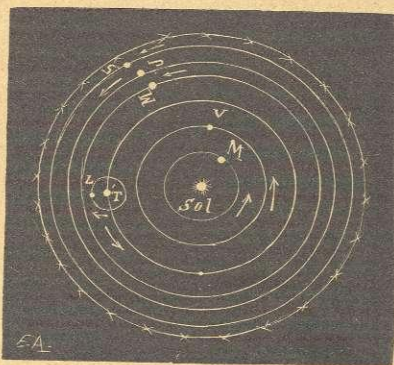


FIG. 11.—SISTEMA DE COPÉRNICO.

mueven los demás astros en el orden siguiente: Mercurio,

Venus, la Tierra con la Luna, Marte, Júpiter y Saturno. Así el Sol queda constituido en centro del sistema planetario, la Tierra convertida en planeta, y la Luna desciende del rango de planeta al de satélite de la Tierra.

La Tierra según Copérnico está dotada de tres movimientos; uno de rotación al rededor de su eje; otro de traslación al rededor del Sol; y el tercero es un movimiento del eje terrestre, por el cual permanece constantemente paralelo á sí mismo.

17. SISTEMA DE TICHO-BRAHE.—Aunque el sistema de Copérnico explicaba con admirable sencillez el sistema solar, no destruyó en un momento el sistema tradicional, ó sea el de Tolomeo.

Parece que la repugnancia de los astrónomos á variar sus *tablas* indujo al danés Tycho-Brahe á formar un sistema mezcla del antiguo y del nuevo.

Nació Tycho-Brahe en Escania en 1546. Dotado de verdadera vocación para el estudio de la Astronomía, empleó cinco años en recorrer los principales observatorios de Alemania y Suiza. Federico II

le encomendó la enseñanza de la Astronomía y le donó la isla de Hveen, para que estableciese en ella su observatorio.

En el sistema ideado por este Astrónomo los diversos planetas se mueven al rededor del Sol (*Fig. 12*), recorriendo órbitas de las mismas dimensiones, que las asignadas para sus revoluciones en el sistema Copernicano; á su

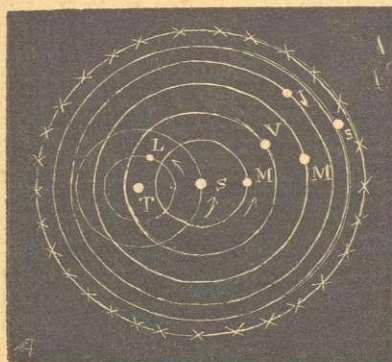


FIG. 12.
Sistema de Tycho-Brahe.

vez, el Sol, llevando consigo todo su cortejo de planetas, se mueve al rededor de la Tierra. Por último, el conjunto de las estrellas, de los planetas, del sol y de la luna gira al rededor del eje del mundo, dando una vuelta completa en un día sideral.

Como ordinariamente sucede en casos análogos, el sistema de Tycho, que pretendía dar gusto á los partidarios de Copérnico y de Tolomeo, desagradó á todos y no tuvo aceptación.

18. GALILEO: SUS DESCUBRIMIENTOS.—Nació Galileo Galilei en Pisa en 1564 y ha merecido por sus numerosos descubrimientos en ciencias naturales que se le considere como uno de los fundadores de la Física y de la Astronomía Moderna.

Habiendo llegado á sus oídos que en Flandes se había presentado á Mauricio de Nasau un instrumento con el cual los objetos lejanos se veían como si estuviesen inmediatos, sin añadir más acerca de su forma, meditó una noche entera sobre el particular y al día siguiente estaba ya ideado el antejo que lleva su nombre (1); con él pudo observar los montes de la Luna, las manchas del Sol, las fases de Venus, cuatro satélites de Júpiter y multitud de estrellas en la vía láctea.

El sistema de Copérnico había sido llamado modestamente por su Autor *hipótesis*; Galileo quiso convertirlo en *tesis* y para demostrarlo acudió á toda clase de argumentos.

Para probar la rotación de la Tierra sobre sí misma acudió á las manchas solares y al flujo y reflujo del mar; para probar la traslación de la tierra, llevando consigo la Luna, al rededor del Sol, acudía á Júpiter llevando consigo sus cuatro satélites.

A la verdad estas pruebas son hermosas analogías, pero no demostraciones apodicticas; así es que á pesar de todos los esfuerzos de Galileo continuaron con sus opiniones la mayor parte de los adversarios del sistema Copernicano (2).

(1) César Cantú *Historia Univ.*—tomo 5.º, pág 513 y 14.

(2) Galileo recurrió, por último, á las Sagradas Escrituras para probar sus afirmaciones; ordenóle la Autoridad Eclesiástica que se abstuviese de seguir enseñando aquellas doctrinas; prometiolo Galileo y no lo cumplió; en cambio publicó su «*Diálogo al rededor de los dos sistemas*» en el cual puso en ridículo á los partidarios de la inmovilidad de la Tierra.

Sabido es también que dos Congregaciones Romanas, la del

19. KEPLER: SUS LEYES.—Nació Juan Kepler en Wiel á fines del año 1571. Siendo estudiante de Teología en Tubinga

Santo Oficio y la del Indice, pronunciaron su fallo contrario á Galileo.

Con motivo de esta sentencia hanse propagado por los enemigos de la Iglesia las más absurdas patrañas. Afirman que la Iglesia erró; que Galileo fué tratado con tanta crueldad, que hasta se le impuso tormento; que los individuos de que se componían las dos Congregaciones Romanas eran enemigos del progreso, etc. etc. No es nuestro ánimo entrar en una detenida refutación de los cargos anteriores. Por una parte nos saldriamos de nuestro objeto, y por otra el trabajo está hecho por ilustres historiadores, teólogos y apologistas de la Religión Católica.

Que erró la Iglesia Católica: esta afirmación es una impostura. Supone en quien la haga ó una decidida mala fé ó una ignorancia completa del dogma católico de la *infallibilidad*, puesto que en esta cuestión no se trata ni de un dogma de fé, ni de una definición solemne dada por la Iglesia, ni de ningun otro acto que suponga el ejercicio de la prerrogativa de la infalibilidad. Puede consultar el lector sobre este punto al Card. Franzelin. *De Traditione*, pág. 116 y sig.—Tanquerey. *Synopsis Theologiae Dogmaticae Fundamentalis*, pág. 476 y 477.

Que Galileo fué tratado con crueldad y que se le impuso tormento: hé aquí una afirmación gratuita, puesto que «la curia romana procuró hasta con ostentación observar las mayores consideraciones y ser indulgente respecto de Galileo» (Gebler citado por el P. Cámara).—Cf. P. Rivas. *Historia Eclesiástica*, tom. 3.º pag. 174 á 177—*Contestacion... á Draper* por el Ilmo. P. Cámara pag. 270 á 285.—P. Mendive. «*La Religión Católica vindicada de las imposturas racionalistas*» pag. 266 á 282.

Que los Cardenales é individuos de las Congregaciones fueron enemigos del progreso: otra falsedad. Para juzgar con acierto á estos hombres es necesario despojarnos de nuestras ideas astronómicas, físicas y mecánicas y trasladarnos á su época. Ni *las manchas solares*, ni *los satélites de Júpiter*, ni *las fases de Venus*, ni mucho menos el *flujo y reflujó del mar* —pruebas aducidas por Galileo—constituyen un argumento apodictico en pró de la movilidad de la tierra; por consiguiente el sistema heliocéntrico, contra el cual se levantaban sabios, como Tycho-Brahe, Fabricio, Scheiner, Riccioli, Bacón y aún los corifeos del Protestantismo, Lutero y Melanchton, no estaba aún demostrado. Luego la posibilidad del sistema geocéntrico no estaba destruida. Luego los individuos de las Congregaciones Romanas no se opusieron á una ver-

(1589) llegó á su conocimiento el sistema de Copérnico (1). A partir de este momento Kepler se dedicó con ardor á la ciencia de los astros en la que ocupa lugar preeminente por sus magnificas leyes referentes á los planetas.

Tres son las principales obras, que nos ha legado el genio de Kepler:

1) *Mysterium Cosmographicum*; en ella nos dá á conocer la idea que, por así decirlo, constituyó el punto de partida de todas sus investigaciones, á saber, que debía existir una especie de organismo ordenado y harmónico en el sistema solar.

2) *Astronomia nova de motibus stellae Martis ex observationibus Tychonis-Brahe*; en ella formula las dos primeras leyes del movimiento de los planetas. Dicen así:

Las órbitas planetarias son elípticas y en un foco de esta elipse reside el Sol.

Las áreas, que el radio vector de cada uno de los planetas describe al rededor del Sol, son proporcionales á los tiempos en que son descritas.

3) *Harmonices mundi libri quinque*; en esta hermosa obra, que termina con un magnífico canto á la divinidad, formuló la tercera ley relativa también á los planetas. Dice así:

Los cuadrados de los tiempos periódicos de los diversos planetas son entre sí como los cubos de los ejes mayores de sus órbitas.

Vamos á dar en este punto una ilustración de tan hermosas leyes.

dad demostrada, sino á una hipótesis; fundada, quien lo duda, pero al fin hipótesis.

Tan hipótesis era entonces el sistema heliocéntrico que hasta 1728 en que Bradley descubrió la aberración de la luz, no ha quedado demostrado.—P. Müller, *Compendio di Astronomia*, pág. 295-301.

(1) Kepler era protestante: estudiaba Teología para dedicarse al ministerio eclesiástico, pero su adhesión al sistema de Copérnico fué una de las causas que tuvieron presente sus superiores para excluirlo de tal ministerio. Véase la *tolerancia* de los partidarios del libre exámen.

Sea $ABDFB'A$ (*Fig. 13*) una elipse; S es uno de los focos. Según la primera ley, un planeta A no describe un círculo al rededor del Sol, como decía Copérnico, sino la elipse $ABFB'A$ de la cual ocupa el sol un foco, que aquí suponemos ser S .

Para comprender bien el enunciado de la 2.^a ley considérense los sectores elípticos ASB , CSD y ESF . Estos sec-

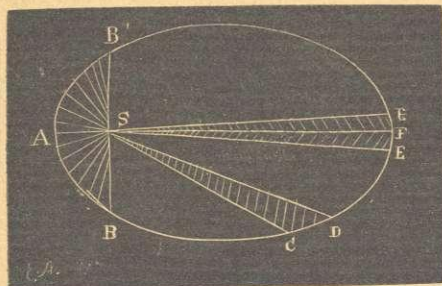


FIG. 13

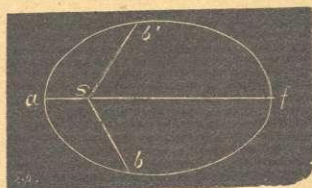


FIG. 14

LEYES DE KEPLER.

tores son las áreas descritas por el radio vector AS en los tiempos t , t' y t'' .

Ahora bien, siendo dichos vectores iguales, se sigue con arreglo á la 2.^a ley que los tiempos t , t' y t'' son también iguales. Si se considera el vector $ESE' = 2ESF$, el tiempo t''' empleado por el radio vector en describirlo será igual á $2t''$.

Para hacerse cargo de la 3.^a ley sea $abfb'a$ (*Fig. 14*) la elipse descrita por otro planeta a . Supongamos que el planeta A (*Fig. 13*) emplea en describir su elipse un tiempo T , y que el otro a emplea en describir la suya t . La tercera ley dice que $T^2 : t^2 :: AF^3 : af^3$.

20. NEWTON: LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL.—Nació en Cambridge en 1622 este hombre ilustre que había de dar extraordinario impulso á las ciencias físico-matemáticas con sus admirables descubrimientos.

Dotado de un espíritu activo y observador, supo aprovecharse tan bien de sus extraordinarias cualidades, que

reformó y mejoró las Matemáticas, la Óptica, la Química, la Mecánica y la Astronomía.

Bastaban las conquistas científicas obtenidas en estos ramos del humano saber, para hacer inmortal su nombre, y sin embargo todavía hemos de mencionar el más importante de sus descubrimientos; *la gravitación universal*. Síntesis admirable de las leyes cosmológicas, este descubrimiento marca una de las épocas y uno de los progresos más transcendentales en el conocimiento de la Naturaleza; crea una ciencia nueva, la Mecánica Celeste, y explica satisfactoriamente problemas, que antes se hubieran considerado como insolubles.

Reflexionando Newton acerca de la caída de los cuerpos sobre la tierra, merced á la acción de la gravedad, sospechó si sería la misma fuerza la que retiene á la Luna en su órbita, impidiendo que se escape según la tangente á la curva que dicho satélite describe al rededor de la Tierra.

Era el año de 1666. Newton comenzó sus cálculos, los cuales no le dieron resultado satisfactorio, por haber supuesto la circunferencia de la Tierra menor de lo que era en realidad

Las medidas terrestres, realizadas por Picard, le suministraron nuevos datos, y esta vez (1682) los cálculos dieron el efecto apetecido: la Luna era atraída por la Tierra. No se detuvo Newton en tan hermoso camino; antes bien continuó con nuevo ardor sus investigaciones acerca de los planetas, y, viéndolas confirmadas, formuló la ley de la gravitación con las siguientes palabras:

“Los cuerpos se atraen en el espacio en razón directa de sus masas é inversa del cuadrado de sus distancias.”

21. BRADLEY: ABERRACIÓN DE LA LUZ.—Nació Santiago Bradley en 1692 en Sherboun (Inglaterra), mereciendo por sus muchos conocimientos que Newton le llamase *el mejor astrónomo de Europa*.

Fué tan notable como observador que redujo el error cometido en una observación astronómica aislada á un segundo próximamente. Distinguióse además por su catálogo

estelar en el cual empleó para designar las estrellas una nomenclatura, que ha adoptado la ciencia; por sus esfuerzos en pró de la introducción del calendario gregoriano, y sobre todo por los dos descubrimientos siguientes; el de la *aberración de la luz*, con el cual quedó demostrada la traslación de la Tierra al rededor del Sol, y el de la *nutación del eje terrestre*, con el cual se explica más satisfactoriamente el fenómeno de la precesión de los equinoccios.

22. COMPROBACIÓN DE LA LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL: PERTURBACIONES.—Introducida en la ciencia la ley de la gravitación universal, los Astrónomos contaron con un nuevo factor para determinar la naturaleza de las curvas descritas por los planetas.

Las leyes de Kepler serían rigurosamente exactas, si cada astro estuviera atraído solamente por el que ocupa el foco de su elipse; pero la ley de Newton supone una atracción recíproca entre todos los astros y esta atracción produce resultados distintos. Si Marte, por éj., estuviese atraído solamente por el Sol, su órbita sería una elipse perfecta, como suponía Kepler; pero siendo atraído á la vez por los demás astros y en especial por Júpiter, estas influencias han de producir ciertas modificaciones en su trayectoria, que deben tenerse muy en cuenta. Así lo comprendieron los Astrónomos, surgiendo entonces el problema de las *perturbaciones*, en cuyo estudio han adquirido prez y fama multitud de sábios.

Hanse distinguido en el estudio de las *perturbaciones lunares*—el célebre problema de los tres cuerpos—Clairaut y D'Alembert; en el de las *cometarias* Halley y el citado Clairaut; y en el de las *planetarias*, Lagrange y Laplace.

Con estos y otros notables trabajos, llevados á cabo por hombres eminentes, la ley de la gravitación universal quedó extendida á toda la materia y victoriosamente asentada en todas las ramas de las ciencias físicas.

23. HERSCHEL: DESCUBRIMIENTO DE URANO. — Nació Herschel en el estado de Hannover (Alemania) en 1738. Hijo

de un músico acreditado, dedicóse por algún tiempo á la profesión de su padre, sin descuidar el estudio de las Matemáticas, ni el de la Astronomía. Más tarde se trasladó á Inglaterra, consagrándose por completo á la ciencia de los astros.

No contando con muchos recursos construyó por sí mismo un telescopio tan potente que le permitió observar el cielo con más escrupulosidad que lo habían hecho sus predecesores. Él vió resplandeciente de luz la nebulosa de Orión; observó por vez primera el movimiento relativo de las estrellas dobles; determinó la revolución de Saturno y de sus anillos; emitió algunas hipótesis sobre la constitución física del Sol, y sobre la traslación de todo el sistema solar por el espacio, y por último enriqueció este sistema con varios satélites y con el planeta Urano, reconocido por él como tal planeta una noche en que observaba con su poderoso telescopio la constelación de los Gemelos.

24. LE VERRIER Y ADAMS: DESCUBRIMIENTO DE NEPTUNO.—No pudiendo conciliar los astrónomos los datos teóricos con las observaciones en el problema de las perturbaciones de Urano, sospecharon si existiría un planeta exterior, cuya atracción explicase el mencionado desacuerdo. La sospecha fué adquiriendo cada día más valor, hasta que convertida en opinión fué defendida por Bouvard, Valz y Bessel.

El francés Le Verrier y el inglés Adams emprendieron separadamente sus cálculos, á fin de investigar si realmente existía el planeta en cuestión, y ambos señalaron por procedimientos puramente matemáticos el lugar de la esfera celeste donde podría encontrarse dicho planeta. De este modo consiguieron uno de los más señalados triunfos á que puede aspirar la inteligencia humana en el orden científico.

Los cálculos de Adams no se publicaron en tiempo oportuno; así es que toda la gloria del descubrimiento recayó sobre Le Verrier.

Era á mediados de 1846, cuando este célebre matemático anunció á la Academia de Ciencias de París que el problema estaba resuelto; esto es, que existía un planeta exterior

á Urano y que visto desde la Tierra á principios de 1847 su longitud sería de 385°. El astrónomo alemán Galle, siguiendo las indicaciones de Le Verrier, buscó y encontró el nuevo planeta el día 23 de Septiembre del mismo año 1846: diósele el nombre de Neptuno.

25. ÚLTIMOS DESCUBRIMIENTOS.—En la imposibilidad de enumerar todos los descubrimientos astronómicos, realizados en la segunda mitad de la corriente centuria, y que se encontrarán en el transcurso de este libro, terminamos este resumen diciendo que se ha descubierto un nuevo planeta (1897); más de 400 pequeños planetas, que circulan entre las órbitas de Marte y de Júpiter; un gran número de cometas, y por último, que merced á los nuevos procedimientos empleados en la ciencia astronómica, de los cuales hablaremos en el capítulo siguiente, podemos hoy admirar las magnificencias del Universo, como no hubieran siquiera sospechado nuestros antepasados.

CAPÍTULO IV

NOCIONES SOBRE LOS PRINCIPALES INSTRUMENTOS Y MÉTODOS.

El presente capítulo abraza dos partes, indicadas en su epígrafe: *instrumentos y métodos*.

ARTÍCULO I

PRINCIPALES INSTRUMENTOS

26. CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS.

—Los instrumentos empleados por los Astrónomos en sus observaciones, pueden clasificarse fundamentalmente en dos grupos. Constituyen el primero los *anteojos y telescopios*: el segundo los *péndulos y cronómetros*.

Todos los demás instrumentos propiamente dichos astronómicos no son mas que los anteriores convenientemente modificados, ó combinados con otros auxiliares; mediante la modificación ó combinación mencionadas, se facilita la práctica de ciertas y determinadas observaciones. Dejando para su lugar correspondiente el estudio de estos últimos instrumentos, vamos á dar una idea de los fundamentales.

§ I.—Anteojos y Telescopios.

27. A)—ANTEOJOS.—Se llaman *anteojos* unos aparatos fundados en las propiedades de las lentes y destinados á observar los objetos lejanos.

28. ANTECEDENTES NECESARIOS PARA EL ESTUDIO DE LOS ANTEOJOS: NOCIONES SOBRE LAS LENTES.—Lentes son unos medios transparentes, terminados por superficies curvas (al menos por una de sus caras) y que hacen converger ó divergir los rayos luminosos que las atraviesan. Pueden ser esféricas, cónicas, cilíndricas, parabólicas é hiperbólicas.

Las lentes de superficie esférica, únicas que se emplean en la construcción de los anteojos, pueden ser (*Fig. 15*). *biconvexas a*, *plano-convexas b*, *cóncavo-convexas* ó *menisco-con-*

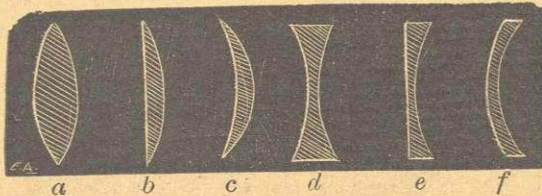


FIG. 15.—LENTES.

vergentes c, *bicóncavas d*, *plano cóncavas e* y *cóncavo-concavas* ó *menisco-divergentes f*. Las tres primeras hacen converger los rayos luminosos que las atraviesan; llámense *convergentes*: las tres últimas los hacen divergir; reciben el nombre de *divergentes*.

Como se enseña en Óptica, para estudiar las propiedades de las lentes hay que considerar en ellas los *centros*, los *ejes* y los *focos*.

Los centros son dos, de *curvatura* y *óptico*; los *ejes*, *principal* y *secundario*; los *focos principal* y *conjugado*, pudiendo ser ambos, según los casos, *reales* ó *virtuales*.

Sea AB (*Fig. 16*) una lente biconvexa; o y o' son los centros de curvatura de las dos superficies esféricas á que per-

tenecen las dos caras AcB y $Ac'B$ de la lente: EE' , ó sea la línea que une los dos centros de curvatura es el *eje principal*

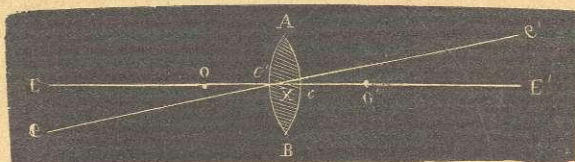


FIG. 16.—PROPIEDADES DE LAS LENTES.

pal; exe' , esto es, la línea que sigue un rayo luminoso, que atraviesa la lente, sin desviarse angularmente, es un *eje secundario*; el punto x donde todos los ejes secundarios encuentran al eje principal es el *centro óptico* de la lente.

Consideremos ahora dos rayos Rr y $R'r'$ paralelos al eje principal (*Fig. 17*); dichos rayos experimentan dos refraccio-

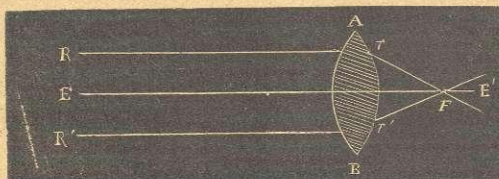


FIG. 17.—FOCO PRINCIPAL.

nes al atravesar la lente; por la primera se acercan á la normal en el punto de incidencia, por la segunda se separan de ella en el punto de emergencia, y ambas contribuyen á que dichos rayos se acerquen al eje principal, al cual encuentran por último en F. Este punto, al cual convergen todos los rayos paralelos al eje principal, se llama *foco principal* de la lente, el cual es *real* en las lentes convergentes; esto es, la imagen del objeto luminoso puede recogerse en una pantalla.

Si el objeto luminoso está situado á una distancia tal que los rayos no llegan á la lente paralelos al eje principal, el punto en el cual dichos rayos forman el foco se encuentra

más separado de la lente que el foco principal (*Fig. 18*), re-

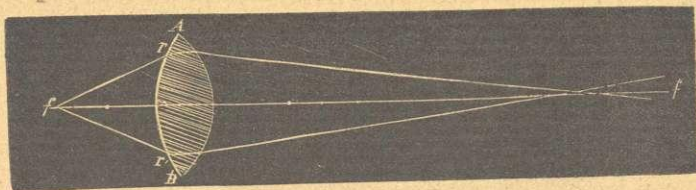


FIG. 18.—FOCO CONJUGADO.

tirándose á medida que se acerca el objeto luminoso; si este llega á colocarse en el foco principal los rayos salen paralelos y no hay foco; es el caso recíproco al estudiado anteriormente (*Fig. 17*). Por esta reciprocidad se llama *conjugado* á este foco; es también *real* en las lentes convergentes.

Supongamos, por último, que el objeto luminoso se encuentra entre el foco principal y la lente (*Fig. 19*). En este

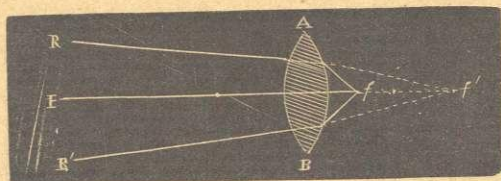


FIG. 19.—FOCO VIRTUAL.

caso los rayos luminosos atraviesan la lente y salen de ella con tal divergencia, que no es posible reunirlos de nuevo; en cambio como se observa en la figura pueden reunirse las prolongaciones de los rayos refractados en el punto f' , donde forman un *foco virtual*; este no puede recogerse en una pantalla.

En las lentes *divergentes* los rayos que las atraviesan, cualquiera que sea la distancia á que de ellas se encuentre el objeto luminoso, nunca pueden reunirse después de refractados y por consiguiente *nunca* forman *foco real*, sino *siempre virtual*.

29. ANTEOJOS ASTRONÓMICOS.—Con las anteriores nociones se comprende perfectamente la teoría de los anteojos.

Reducidos los astronómicos á su mayor sencillez no son más que una combinación de dos lentes.

La Fig. 20 representa el interior de uno de estos anteo-

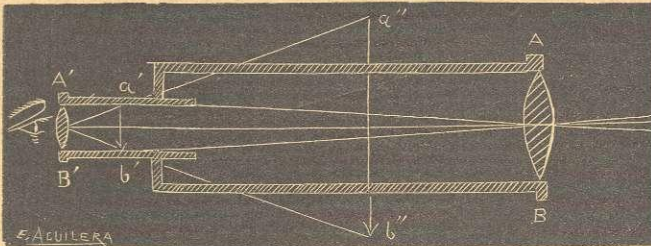


FIG. 20.—TEORÍA DEL ANTEOJO ASTRONÓMICO.

jos. AB es una lente biconvexa, sobre la cual caen los rayos procedentes de un objeto que suponemos á una distancia muy considerable. Los rayos luminosos inciden sobre la lente, esta los hace converger y formar proximamente en su foco principal una imagen $a'b'$; esta imagen es *real*, *más pequeña* que el objeto é *invertida* con relación á él. Colocando otra lente biconvexa A'B' en tal posición que su foco principal esté más allá de la imagen $a'b'$ los rayos luminosos que de esta proceden, inciden sobre la lente, y salen con tal divergencia de ella (núm. 27), que no pueden formar *imagen real*; en cambio, el observador puede contemplar en la prolongación de dichos rayos refractados una imagen $a''b''$, *virtual*, *mayor* que $a'b'$ y como esta *invertida* con relación al objeto.

Tal es la teoría del anteojo astronómico. La lente AB recibe el nombre de *objetivo* y va montada en la extremidad de un tubo de metal ennegrecido en su interior. La lente A'B' se llama *ocular* y se adapta á otro tubo también de metal y ennegrecido, más corto y de menor diámetro que el anterior, en el cual se enchufa. Este sistema de tubos enchufados es de la mayor importancia. Para su inteligencia nótese por una parte que el objetivo no forma siempre la imagen en el foco principal sino en relación con la distancia del objeto; y por otra que el observador ha de ver la segunda imagen formada por el ocular á la distancia de la *visión dis-*

tinta, que varía con los individuos. Pues bien, con el sistema de los tubos enchufados el ocular puede acercarse ó separarse del objetivo á merced del observador, y por tanto este puede examinar á su placer la imagen del objeto.

Casi todos los anteojos llevan fija en el plano focal una lámina de metal ennegrecida, con una abertura circular en el centro. Dicha lámina que recibe el nombre de *diafragma* está cruzada de ordinario por dos hilos muy finos que se cortan en línea recta. El diafragma así modificado recibe el nombre de *retículo*. El punto en que se cruzan los dos hilos está en el foco principal del objetivo del antejo.

El retículo va montado ordinariamente en un tubo que se enchufa en el principal del antejo; de este modo se le puede comunicar un movimiento longitudinal, acercándolo ó separándolo del objetivo, según convenga. También se le puede comunicar un movimiento transversal por medio de tornillos de presión, cuyas cabezas están fuera del tubo. En este caso el antejo se compone de tres tubos enchufados uno en otro; el del objetivo, el del retículo y el del ocular.

Los anteojos así contruidos están de ordinario montados sobre un pié de engranajes (*Fig. 21*) que es más ó menos

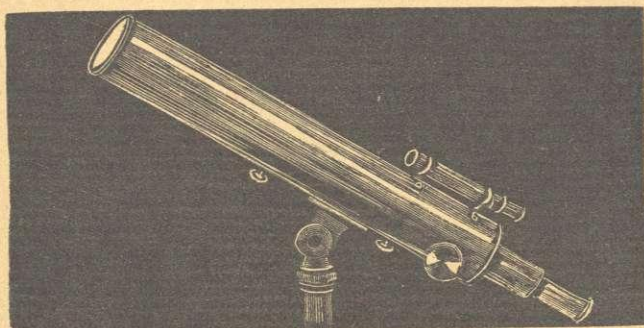


FIG. 21.—ANTEJO ASTRONÓMICO.

complicado y que permite el movimiento del antejo, lo mismo horizontal que verticalmente.

30. CAMPO, EJE ÓPTICO Y AMPLIFICACIÓN DE LOS ANTEJOS ASTRONÓMICOS.—Se llama *campo de un antejo* la por-

ción del espacio visible con él; está determinado por un cono cuya base es el contorno de la abertura del diafragma y cuyo vértice es el centro óptico del objetivo; completando el cono del lado allá del objetivo, queda determinado en el espacio el campo del anteojo.

Eje óptico es la línea que une el punto en que se cruzan los dos hilos del retículo y el centro óptico del objetivo; no debe confundirse el eje óptico con el eje de figura del anteojo: éste es la línea que une los centros ópticos del ocular y del objetivo. Para comprender bien esta distinción, recuérdese que el eje óptico cambia de dirección cada vez que el retículo experimente un movimiento transversal, sin que por esto varíe la dirección del eje de figura.

La amplificación es la relación entre las *magnitudes aparentes* de la imagen y del objeto. Los anteojos astronómicos no amplifican como á primera vista pudiera parecer las dimensiones del objeto, sino las dimensiones aparentes. Ahora bien; las dimensiones aparentes de un objeto están determinadas por el ángulo bajo el cual se vé; esto es, el ángulo que tiene por vértice el centro del ojo y por lados las líneas que de este centro llegan á los dos extremos del objeto. *Estas dimensiones aparentes* son las que amplifica el anteojo; por tanto su amplificación se determina por la relación entre dos ángulos, que tienen por vértice el centro óptico del ocular y por lados las rectas, que de dicho centro óptico llegan á los dos extremos de la imagen y del objeto.

31. ADVERTENCIAS SOBRE LOS ANTEOJOS ASTRONÓMICOS.

—1.^a *Inversión de la imagen.*—Como queda indicado, las imágenes producidas por los anteojos astronómicos están *invertidas* en relación con el objeto: esta inversión, que sería una gran dificultad tratándose de objetos terrestres lejanos, no lo es cuando se observan los astros; antes bien la adición de algunas lentes para *rectificar* la imagen sería perjudicial, puesto que se perdería una gran parte de la luz emitida por el astro.

2.^a *Irisación de la imagen.*—Otra dificultad más grave apareció á poco de inventarse los anteojos; la *irisación*

de la imagen. Como los diferentes rayos de que se compone la luz no son igualmente refrangibles, al atravesar estos la lente forman su foco en distintos puntos del eje principal, produciendo por consiguiente una imagen *irisada*, esto es matizada con los tintes del iris. Esta dificultad fué vencida por Hall y después por Dollong, quienes crearon el *acromatismo*, ó sea, un procedimiento en virtud del cual las lentes desvían los rayos luminosos, sin descomponerlos en los colores simples. Consiste esencialmente el acromatismo en combinar según ciertas reglas dos lentes, una de *crown-glass* y otra de *flint-glass*, como se observa en la fig. 22.

3.^a *Investigador*.—Cuanto más amplificador es un antejo tanto más disminuye su campo y se hace más difícil



FIG. 22.
Lente acromática.

encontrar en el cielo el astro que se desea. Para facilitar la búsqueda del astro llevan casi todos los anteojos atornillado á su tubo por medio de dos abrazaderas de metal un antejo de poca amplificación (*Fig. 21*), pero de campo muy extenso que se llama *investigador*: siendo su eje óptico paralelo al del antejo principal, basta que el astro se encuentre en el centro de su campo ó próximo á él para que esté dentro del campo del principal.

32. B) TELESCOPIOS.—Son unos aparatos fundados en las propiedades de los espejos y destinados á observar los astros.

33. ANTECEDENTES NECESARIOS PARA EL ESTUDIO DE LOS TELESCOPIOS: NOCIONES SOBRE LOS ESPEJOS.—Se dá en general el nombre de *espejo* á toda superficie pulimentada que produce por reflexión la imagen de un objeto. Los espejos son *planos* ó *curvos* según lo sea su superficie. Los curvos pueden ser esféricos, cilíndricos, cónicos, elípticos, parabólicos é hiperbólicos.

Los espejos de superficie esférica pueden ser *cóncavos* ó *convexos*, según que su superficie esté pulimentada por el

interior ó por el exterior. Los empleados en los telescopios son ordinariamente cóncavos.

Lo mismo que en las lentes en los espejos esféricos hay centros, ejes y focos. Los centros son dos, de curvatura y de figura; los ejes principal y secundario; los focos principal y conjugado; estos focos son reales ó virtuales según los casos.

Sea AB (Fig. 23) la sección meridiana de un espejo esfé-

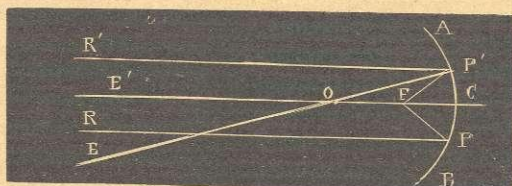


FIG. 23.—ESPEJOS CÓNCAVOS.

rico cóncavo: *o*, centro de la esfera de que forma parte el espejo es el *centro de curvatura*; C centro del espejo es el *centro de figura*; la línea E'oC, que pasa por los dos centros es el *eje principal*; la línea que como EoP' pasa por el centro de curvatura y termina en el espejo sin coincidir con el eje principal es un *eje secundario*.

Consideremos ahora dos rayos RP y R'P' paralelos al eje principal, que proceden de un foco luminoso, que se encuentra á una distancia casi infinita v. gr. de un astro; dichos rayos inciden sobre el espejo, se reflejan en él y vienen á formar una imagen en F. Este punto es el *foco principal* del espejo y se encuentra á una distancia sensiblemente igual de *o* y de C: es real, invertido con relación al objeto luminoso y más pequeño que él. Cuando el objeto luminoso se encuentra sobre el eje principal y á una distancia tal del espejo que sus rayos no caen paralelos sobre éste sino oblicuos, el punto en que dichos rayos forman el foco está situado sobre el mismo eje, pero más retirado del espejo que el foco principal; el foco recibe en este caso el nombre de *conjugado*, por la misma razón que dimos al tratar de las lentes: es también real.

Si el objeto luminoso llega á colocarse en el foco principal, los rayos reflejados salen paralelos del espejo y no

hay foco. Por último, si se coloca entre el foco principal y el espejo, los rayos caen sobre éste y salen de él con tal divergencia que no pueden reunirse para formar foco; en cambio las prolongaciones de los rayos reflejados concurren detrás del espejo formando un foco *virtual*.

Lo que dijimos de las lentes divergentes, decimos de los espejos *convexos*; los focos y las imágenes que producen son *siempre virtuales*.

34. TEORÍA DEL TELESCOPIO.—Reducido á su mayor sencillez se compone de un tubo metálico TT' (Fig. 24) en-

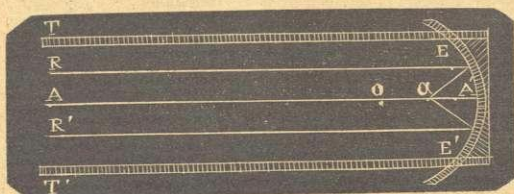


FIG. 24.—TEORÍA DEL TELESCOPIO.

negrecido en su interior y que lleva en el fondo un gran espejo cóncavo EE', destinado á producir por reflexión la imagen de un astro.

Sea AA' el eje principal del espejo, y RE, R'E' dos rayos paralelos. Después de reflejarse estos rayos en el espejo forman en su foco principal una imagen *a*, *real*, *muy pequeña é invertida* con relación al astro: las dimensiones de esta imagen pueden hacerse mayores, aumentando la distancia focal del espejo.

Cuatro medios principales han sido excogitados para que un observador pueda examinar la imagen producida por el reflector:

1.º *El de Gregory*.—En el telescopio que lleva su nombre el reflector está horadado en su parte central (Fig. 25); en P hay otro espejito cóncavo destinado á recibir los rayos procedentes del reflector y á formar en *a* una imagen un poco amplificada; una lente convergente, montada como en los anteojos, sirve de ocular; valiéndose de ella el obser-

vador vé la imagen del astro muy ampliada á la distancia de la visión distinta.

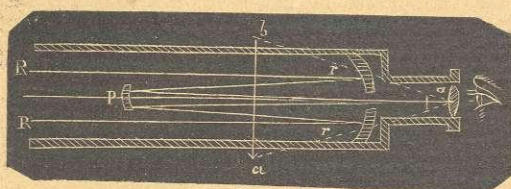


FIG. 25.—INTERIOR DEL TELESCOPIO DE GREGORY.

2.º *El de Newton.*—Newton suprimió el orificio del espejo reflector y en vez del espejito cóncavo de Gregory empleó uno plano P (Fig. 26), inclinado 45º sobre el eje princi-

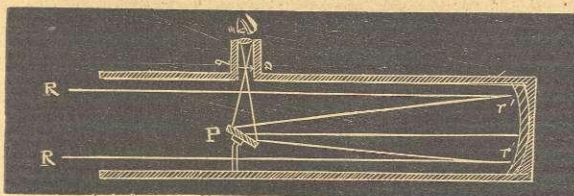


FIG. 26.—INTERIOR DEL TELESCOPIO DE NEWTON.

pal del espejo rr' . Este segundo espejito refleja lateralmente los rayos enviados por el grande, y forma en a una imagen que puede observarse con un ocular, como en el anterior.

3.º *El de Herschel.*—Las disposiciones dadas al telescopio por Gregory y por Newton hacen perder una gran cantidad de luz, á causa de las dos reflexiones que sufren los rayos luminosos. Para obviar este inconveniente Herschel introdujo una notable modificación. Inclino un poco el espejo reflector (Fig. 27) y de este modo la imagen vino á

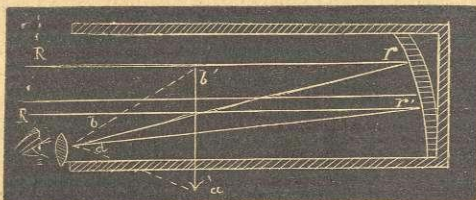


FIG. 27.—INTERIOR DEL TELESCOPIO DE HERSCHEL.

formarse en un lado del tubo y cerca de sus bordes. El ob-

servador, vuelto de espaldas á la región del cielo, que examinaba, miraba la imagen así formada con una lente de aumento.

4.º *El de Foucault.*—Los inconvenientes de los anteriores telescopios han sido en parte eliminados con el procedimiento empleado por el Sr. Foucault: consiste en reemplazar el reflector metálico por uno de vidrio plateado y en sustituir el espejito cóncavo ó plano de Gregory y de Newton por un prisma de reflexión total (*Fig. 28*). El prisma refle-

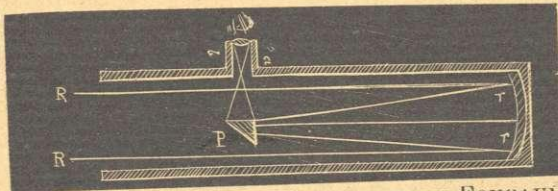


FIG. 28.—INTERIOR DEL TELESCOPIO DE FOUCAULT.

ja lateralmente los rayos luminosos y forma una imagen en *a*, que se observa exactamente lo mismo que en el telescopio de Newton.

La figura 29 representa el telescopio de Gregory monta-

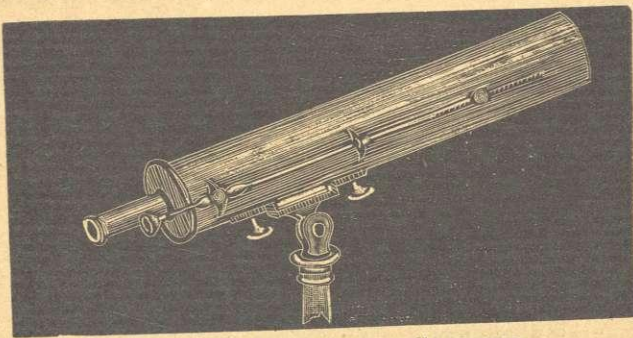


FIG. 29.—TELESCOPIO DE GREGORY.

do sobre su pié. La varilla metálica que se ve sobre el tubo sirve para acercar ó separar el espejito del reflector central.

35. ADVERTENCIA SOBRE LOS TELESCOPIOS.—Lo que queda dicho acerca de los telescopios es suficiente para com-

prender que su empleo en las observaciones astronómicas no está tan generalizado como el de los anteojos. Son los telescopios más caros, más pesados y menos aptos, por tanto, que los anteojos para ser trasladados de un lugar á otro. En cambio sirven admirablemente para examinar todos los detalles de una región determinada del cielo, por ser su campo muy extenso. Por estas razones los telescopios se encuentran instalados en los grandes observatorios, mientras que los anteojos andan en manos de todos los amantes de la Astronomía.

§ II.—Péndulos y Cronómetros.

36. A)—PÉNDULOS.—Se llama péndulo en general un cuerpo pesado P (Fig. 30) suspendido de un punto ó de un eje fijo M y susceptible de oscilar al rededor del punto ó eje de suspensión.

37. MOVIMIENTO OSCILATORIO DEL PÉNDULO: SUS LEYES.—Abandonado el péndulo á sí mismo, la acción de la gravedad le hace tomar la posición MP (Fig. 30) que no es otra más que la de la plomada. Si, separándolo de esta posición, le hacemos ocupar la MP' y lo abandonamos de nuevo, vuelve á causa de la misma fuerza á su primitiva posición. Al llegar á ella no se detiene, sino que en virtud de la ley de la inercia y á causa de la velocidad adquirida, pasa más allá y alcanza la posición MP'' simétrica de la anterior MP': vuelve de nuevo y así continuaría indefinidamente si no existiesen el rozamiento del punto de suspensión y la resistencia del aire, en el cual se mueve.

Este movimiento del péndulo se llama *oscilatorio*; *oscilación* es el movimiento de uno al otro extremo del arco P'PP''; *semi-oscilación* el de la mitad del arco; *duración de la oscilación* el tiempo empleado en recorrerlo; *amplitud de la os-*

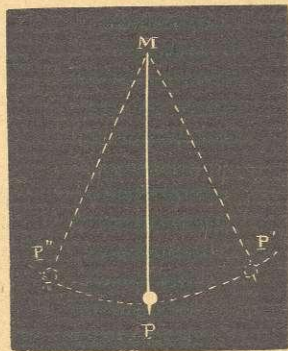


FIG. 30
Teoría del péndulo.

cilación el valor numérico del mismo; por último, se llama *ángulo de desviación* el ángulo PMP'.

Las dos leyes fundamentales del movimiento oscilatorio del péndulo fueron formuladas en 1639 por Galileo. Dicen así:

1.^a *La duración de las pequeñas oscilaciones es la misma para un mismo péndulo.*

2.^a *Para péndulos de diferente longitud los tiempos empleados en las oscilaciones son proporcionales á las raíces cuadradas de su longitud.*

La índole de nuestro trabajo no nos permite detenernos en la demostración de las leyes del péndulo, que pueden ver nuestros alumnos en cualquier tratado de Mecánica.

38. EL PÉNDULO REGULADOR DE LOS RELOJES.—Poco después de los estudios de Galileo sobre el péndulo, Huygens tuvo la feliz idea de aplicarlo á los relojes.

De muy antiguo venian usándose para medir el tiempo los relojes de Sol, los de agua,—la *célebre clepsidra*—y los de arena. Empleábanse también en la época de Galileo los de *rueda y pesas*, cuya invención se remonta por lo menos al siglo XI, puesto que se cuenta entre sus inventores al monge Gerberto, después Papa con el nombre de Silvestre II.

A estos relojes de *rueda y pesas* aplicó Huygens en 1657 el péndulo, con el fin de que *regulase* su movimiento.

Para que se comprenda con facilidad cómo se consigue que los relojes de pesas, tengan un movimiento constante, mediante la aplicación del péndulo, explicaremos lo esencial del mecanismo, tal como hoy se construyen.

Sea PP' (*Fig. 31*) un péndulo suspendido del punto P.

Un arco de círculo en forma de *áncora* ABA' está unido con el péndulo, del cual recibe un movimiento *oscilatorio* al rededor del eje de suspensión, por medio del eje BB' y de la varilla B'C. Entre las dos extremidades AA' del *áncora* se encuentra una rueda dentada R. Un peso M llamado *motor* tiende á comunicar á la rueda R un movimiento de rotación

por medio del cordón, que está arrollado al tambor T eje de dicha rueda.

Cuando el péndulo se pone en movimiento, el áncora se mueve también y en el mismo sentido: se eleva por el extremo A y deja libre la rueda dentada, que inmediatamente gira; pero al mismo tiempo el extremo A' baja, se introduce entre los dientes de la rueda y la detiene. Al elevarse A' descende A y así sucesivamente: de modo que el paso de cada uno de los dientes de la rueda supone una *oscilación doble*.

Ahora bien, siendo la duración de las oscilaciones del péndulo iguales entre sí, los intervalos de tiempo entre el paso de uno y otro diente son también iguales; por consiguiente, si al péndulo se le dá una longitud tal que cada oscilación dure un segundo y la rueda tiene treinta dientes, esta dará una vuelta completa en 60 segundos, ó sea, en un minuto. Basta pues que el eje de la rueda atraviese un cuadrante, dividido en 60 partes iguales, para que una aguja adaptada al extremo de dicho eje lo recorra y marque en él los segundos.

Un sistema de ruedas dentadas perfectamente combinadas y en cuya descripción no podemos detenernos, completa el mecanismo de los relojes y hace que marquen además los minutos y las horas. Empléase mucho este mecanismo en las ciencias físicas con el nombre de *aparato de relojería*.

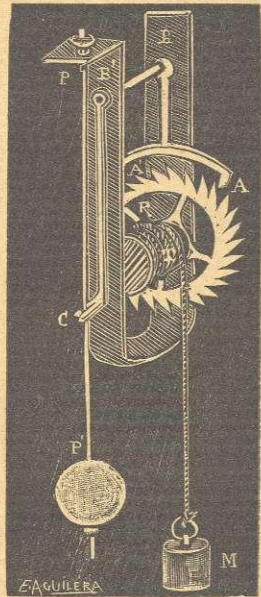


FIG. 31
Aplicación del péndulo
á los relojes.

39. ADVERTENCIAS SOBRE LOS RELOJES DE PÉNDULO.—1.^a
Procedimiento para que la amplitud de la oscilación sea constante.—Es evidente que la resistencia del aire, la suspensión del péndulo y el rozamiento del áncora con la rueda de esca-

pe harían decrecer progresivamente la amplitud de las oscilaciones del péndulo y al cabo de algún tiempo el reloj se quedaría parado. Óbvianse estos inconvenientes haciendo que la suspensión produzca la menor resistencia posible, dando al péndulo la forma de varilla metálica y á su peso la de una lenteja, para que hienda con facilidad el aire y sobre todo disponiendo los extremos del áncora en forma de planos inclinados y en sentido contrario. Al escapar la rueda el diente comunica al áncora y por ella al péndulo un impulso pequeño, pero capaz de compensar el que le roban las mencionadas resistencias.

2.^a *Procedimiento para que la duración de la oscilación sea constante.* — Siendo la duración de las oscilaciones en péndulos de diferente longitud proporcional á la raíz cuadrada de dicha longitud, síguese que, si varía la longitud de un

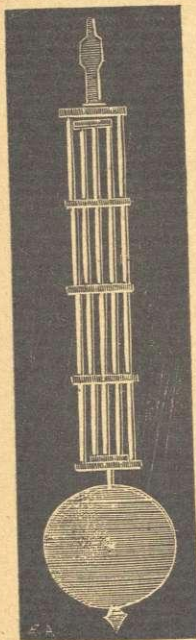


FIG. 32
Péndulo de Leroy.

péndulo determinado, variará también la duración de las oscilaciones. Como es muy difícil al construir un péndulo darle la longitud exacta, para que cada una de sus oscilaciones dure un segundo, la primera operación consiste en *corregir* este defecto. Para esto lleva el péndulo un tornillo debajo de la lenteja (*Fig. 31*), el cual la hace subir ó bajar, según que convenga disminuir ó aumentar la longitud de dicho péndulo.

Aún así corregido el péndulo, su longitud varía de una á otra época del año. Sabido es que el calor dilata los cuerpos; por consiguiente, aumentando en verano la temperatura la varilla del péndulo se dilata y el reloj se retrasa, sucediendo lo contrario en invierno. Lo mismo exactamente sucedería, si el aparato hubiese de ser transportado al Ecuador ó á las regiones polares.

Para corregir estas influencias de la temperatura hánse construido los *péndulos compensadores*. Son los más notables el de *cuadro*, debido á Leroy (*Fig. 32*); el de *mercurio* de Graham y el de *láminas compensadoras* de Harrison.

40.—B) CRONÓMETROS.—Según su etimología, *cronómetro* es un aparato destinado á medir el tiempo. En este sentido todos los relojes pudieran y debieran llamarse cronómetros; sin embargo, el uso ha introducido que solo se designen con este nombre unos relojes especiales, que están dotados de gran precisión.

41.—RELOJES COMUNES Ó VULGARES.—No se sabe, dice Cesar Cantú, cuándo, ni quién inventó los relojes de bolsillo; pero es cierto que existían en el siglo XVI. Habíalos en las córtes de Carlos IX y de Enrique III y hasta se asegura que en 1380 regalaron uno á Carlos V que no era mayor que una avellana (1).

Sea de esto lo que quiera, el hecho es que con ellos se ha prestado un gran servicio á la comodidad y á las ciencias.

En la construcción de estos relojes se emplea un motor y un regulador, que no exigen una posición invariable en el aparato, como lo reclaman las pesas y el péndulo.

El motor que sustituye á las pesas es una laminita muy fina de acero E E' (Fig. 33) de buena longitud y dispuesta de tal manera que se arrolla por sí misma, y toma la forma de espiral. Como se observa en la figura, la extremidad exterior E de esta lámina está unida al punto fijo M, y la interior E' al eje P que puede girar sobre sí mismo. Se comprende fácilmente que dando al eje varias vueltas por medio de una llave quede arrollada en él la lámina. Una vez arrollada, supóngase que se abandona á sí misma; en virtud de la elasticidad tiende á recuperar su primitiva posición y arrastra consigo el eje, el cual comunica el movimiento de rotación recibido á una rueda y por medio de esta al mecanismo del aparato.

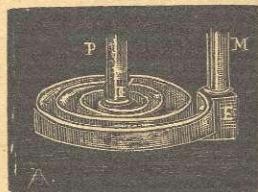


FIG. 33.
Motor del reloj común.

(1) Hist. Univ. tom. 7. pág. 87.

El regulador que sustituye al péndulo está representado en la fig. 34. Compónese de un volante metálico VV' que

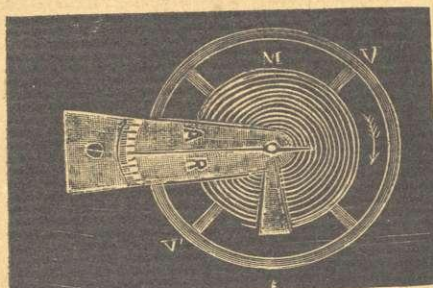


FIG. 34.
Regulador del reloj común.

lleva un muelle muy fino arrollado en espiral M. El extremo exterior de este muelle está fijo, y el interior está unido al eje del volante. La explicación del movimiento de este regulador es muy fácil. Supóngase que se ha comunicado al volante un movimiento en el sentido de la flecha. Al

moverse, arrastra consigo el muelle, que se deforma algún tanto. En virtud de su elasticidad el muelle tiende á recuperar su forma primitiva y hace que el volante se mueva en sentido contrario. Cuando el espiral ha recuperado su forma, el volante no se detiene; antes bien en virtud de la ley de la inercia y á causa de la velocidad adquirida sigue su movimiento y arrastra hácia el otro lado el muelle que ahora se deforma en sentido contrario al anterior; nuevamente tiende éste á recuperar su forma y otra vez arrastra el volante, repitiéndose los mismos fenómenos.

Estos movimientos representan en estos relojes lo que las oscilaciones del péndulo en los anteriormente estudiados. Las oscilaciones del regulador se comunican también por medio de ruedas dentadas al mecanismo del aparato. Los escapes que suelen emplearse son el de *áncora*, ya explicado, y el de *cilindro*.

42.—CRONÓMETROS PROPIAMENTE DICHOS.—El cronómetro propiamente dicho difiere de los anteriores relojes en la naturaleza del escape, que es el llamado *escape libre*. Para comprender su mecanismo obsérvese la figura 35. R es la rueda que recibe del motor el movimiento de rotación en el sentido de la flecha; VV' el volante; M el muelle con una hendidura *a*; E el eje del muelle y del volante que tiene un dedo *d*. DD' es un resorte fijo en D' y con una prominencia *o*.

Este eje tiene una abertura en D por donde pasa otro resorte AA' que está unido al resorte DD'. Esto supuesto, veamos como funciona. En virtud del impulso del motor la rueda R

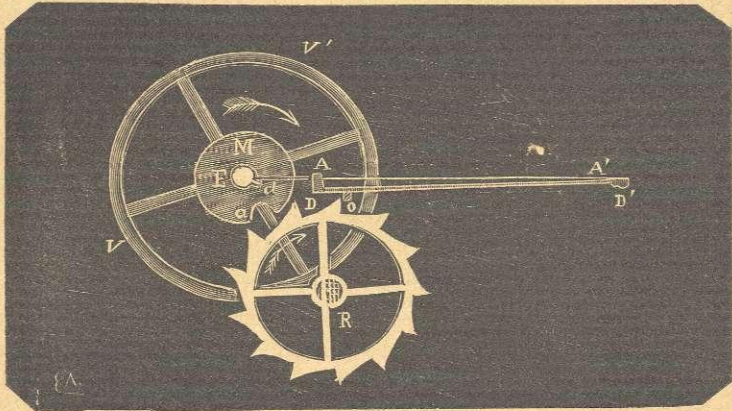


FIG. 35.—TEORÍA DEL ESCAPE LIBRE.

se pone en movimiento: uno de sus dientes choca con la prominencia *o* y se detiene. Al mismo tiempo están en movimiento el volante y el muelle. Al oscilar en el sentido de la flecha el dedo *d* pasa con facilidad, pues el resorte AA' no le ofrece resistencia á causa de la ranura. Mas al oscilar en sentido contrario el dedo *d* arrastra consigo el resorte AA' y este el DD'. Al elevarse este último el diente de la rueda no encuentra obstáculo alguno y pasa; otro diente de la misma rueda comunica al mismo tiempo un pequeño impulso al muelle en el borde de la hendidura *a*. De este modo el motor da al volante la cantidad de movimiento que este ha podido perder durante las dos oscilaciones, que son necesarias para que pase un diente de la rueda.

Los relojes así construidos están dotados de una precisión admirable, por lo cual son los ordinariamente empleados por Astrónomos y Marineros. Estos últimos los suelen montar mediante una suspensión á la *Cardan* á fin de evitar las influencias, que en ellos pudieran tener los movimientos irregulares del buque.

43.—ADVERTENCIA SOBRE LOS RELOJES COMUNES.—*Procedimiento para que la duración de las oscilaciones del volante sea constante.*—Como dijimos al hablar de los péndulos (núm. 39), la primera operación es corregir el defecto de construcción. Nótese que el volante (*Fig. 34*) tiene sobre su eje una aguja que recorre un pequeño arco de círculo graduado, con las letras A y R. Esta aguja sirve para alargar ó acortar mediante un ingenioso procedimiento la longitud del espiral. Así se consigue que la duración de las oscilaciones sea la que se pretende.

Para compensar las influencias de la temperatura se han excogitado los *volantes compensadores*. Suelen construirse de dos metales de diferente naturaleza, cuyas dilataciones se compensan.

44.—MÉTODOS PARA CONTAR EL TIEMPO TRANSCURRIDO EN UNA OBSERVACION ASTRONÓMICA, CUANDO NO SE PUEDE MIRAR EL RELOJ.—Importa mucho á los Astrónomos saber con exactitud el tiempo que duran ciertos fenómenos celestes. Hay muchos casos en los cuales se consigue el efecto apetecido, mirando el reloj al principio y al fin de la observación; pero hay otros en los que este procedimiento es insuficiente, por tener el Astrónomo que observar el astro y contar simultáneamente el tiempo que transcurre. Para que se puedan realizar estas observaciones se han ideado varios medios.

Si se trata de un reloj de péndulo en el cual el escape da á cada oscilación un golpe seco y perceptible por el oído, los segundos se pueden contar con facilidad á medida que se oye el golpe del escape.

Suele también emplearse en estos relojes un *timbre eléctrico*, puesto en comunicación con el péndulo. Un estilete de platino, adaptado á la extremidad inferior del péndulo, cierra el circuito y establece la corriente en cada oscilación, al tocar en un globito de mercurio colocado en un vaso pequeño.

Cuando se trata de cronómetros pueden emplearse varios procedimientos; consiste el que dá mejores resultados, se-

gun Delaunay, en disponer de tal manera la aguja de los segundos que oprimiendo un botón se le haga marcar sobre el cuadrante un punto negro. Como el cronómetro no se para, la operacion puede repetirse y asi dejar marcado entre dos puntos el tiempo transcurrido durante el fenómeno celeste que se observa.

ARTICULO II.

MÉTODOS.

Llamamos métodos en este lugar unos procedimientos físicos que los astrónomos han aplicado al estudio de los astros; dos son los principales: la *espectroscopia* y la *fotografía*.

§ I.—*Espectroscopia.*

45.—PRISMA ÓPTICO: SUS PROPIEDADES.—Se llama *prisma* en Óptica un pedazo de cristal de forma triangular que tiene la propiedad de desviar y descomponer la luz que lo atraviesa. Está representado en la fig. 36.

Conocieron los antiguos el prisma y también su propiedad de colorear los objetos vistos á su través; pero estos conocimientos puramente empíricos no entraron por entonces en el dominio de la ciencia.

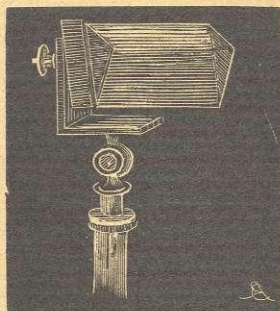


FIG 36.—PRISMA.

46.—EXPERIMENTOS DEL P. GRIMALDI Y DE NEWTON: ESPECTRO: CAMPO ESPECTRAL.—En el siglo XVII el P. Grimaldi, de la Compañía de Jesús, y el célebre Newton comenzaron á estudiar la ley física que determina el hecho de la desviación de la luz al atravesar el prisma; no hay para que decir que obraban independientemente uno de otro. Fueron hechas estas observaciones en una cámara oscura con un rayo de luz solar y un prisma: notaron entonces que el prisma, además de desviar de su dirección primitiva el rayo lumino-

so que lo atraviesa, lo descompone en las dulces tintas del iris, esto es, que proyectada sobre una pantalla la imagen de la luz solar, después de atravesar un prisma de materia refringente (*Fig. 37*), presenta una banda ó faja luminosa

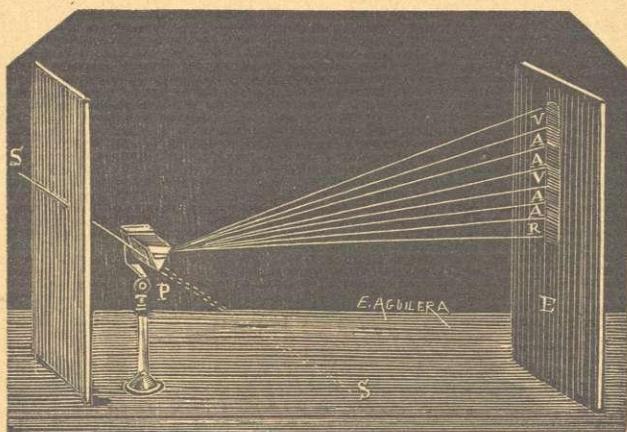


FIG. 37.—PROPIEDADES DEL PRISMA.

perpendicular á las aristas del prisma, en la que se manifiestan como en el arco-iris los siete colores simples en el orden siguiente: *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado*. Esta banda luminosa se conoce en las ciencias físicas con el nombre de *espectro*, y las dimensiones que alcanza ó la extensión que ocupa en la pantalla con el de *campo espectral*.

47.—EXPERIMENTOS DE WOLLASTON Y DE FRAUNHOFER: RAYAS ESPECTRALES: ANÁLISIS ESPECTRAL.—Al examinar Wollaston en 1802 los colores del espectro solar notó que estaban interrumpidos por varias *rayas negras*; pero limitándose á observarlo á la simple vista, apenas si hizo otra cosa que entrever el nuevo y maravilloso fenómeno, que ofrecía el espectro y que tanto había de contribuir á que el hombre adelantase en el conocimiento de la Naturaleza.

En 1815 un célebre óptico de Munich que puede considerarse como el inventor del espectroscopio, Fraunhofer, se

propuso examinar con todo detenimiento y escrupulosidad el espectro solar: una vez que lo tuvo proyectado sobre una pantalla, lo examinó con un anteojo y lo vió cruzado por un número considerable de *rayas negras*, de las cuales contó más de 600.

Fraunhofer diseñó el espectro, señaló en él más de 300 rayas é indicó con las letras del alfabeto A, a, B, C, D, E, b, F, G, H, las diez principales, que hasta hoy se conocen con el nombre de *rayas de Fraunhofer* (Fig. 38) ó *rayas espectrales*.

No se detuvo el mencionado sabio en el estudio del es-

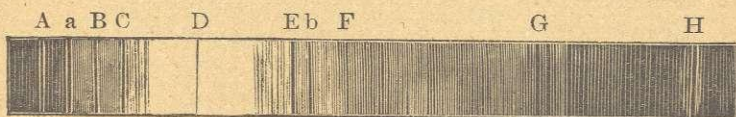


FIG. 38.—ESPECTRO SOLAR Y RAYAS DE FRAUNHOFER.

pectro solar; examinó otras luces artificiales en el campo espectral y de este modo descubrió que todo cuerpo en estado incandescente produce un espectro con especiales particularidades. El estudio de los espectros que producen los cuerpos en estado incandescente se llama *análisis espectral*, *espectroscópico* ó *espectrométrico*.

48. ESPECTROSCOPIO.—Llámase *espectroscopio* el aparato que se emplea para el análisis espectral. Las observaciones de que hemos hablado en los números anteriores fueron hechas con un prisma en la cámara oscura. Para obviar las dificultades que necesariamente entraña este procedimiento hase construido el espectroscopio.

El que representa la figura 39 es el empleado por Bunsen y Kirchhoff, modificado por Dubosq.

Consta de tres tubos móviles al rededor del prisma, que descansa verticalmente sobre el soporte. El tubo que ocupa la derecha se llama *colimador*: delante de él hay un mechero de Bunsen, en cuya llama se introducen las sustancias que se han de quemar. La luz de esta llama penetra por una

ranura larga, estrecha y vertical que lleva el colimador en el extremo opuesto al prisma. En el interior de este tubo se colocan una ó dos lentes convergentes: en el primer caso la ranura debe coincidir en el momento de la observación con el foco de la lente, que está adaptada al otro extremo del tubo; en el segundo la primera lente, que se encuentra á la entrada, forma en el interior del tubo una imagen real de la ranura. El punto en que se forma esta imagen coincide con el foco de la segunda lente, que ocupa el mismo lugar que la única en el caso anterior. Todo el objeto pues del colima-

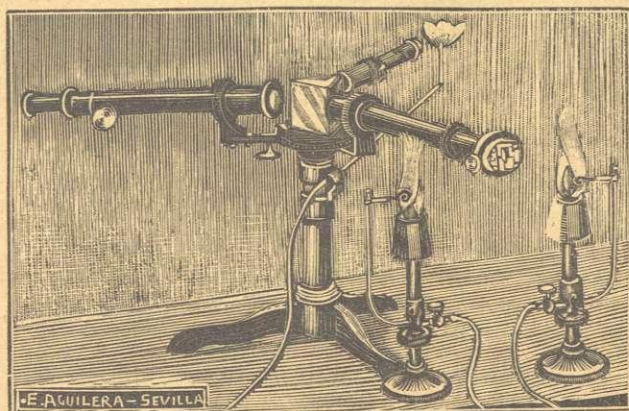


FIG. 39. — ESPECTROSCOPIO.

dor se reduce á que la lente, colocada en su extremo inmediato al prisma, haga caer sobre éste paralelamente los rayos del foco luminoso, que penetran por la ranura.

El tubo que se encuentra á la izquierda es un anteojó astronómico, llamado *analizador*; su objeto es recibir convenientemente el espectro que forma el prisma con los rayos luminosos, que le envía la lente colimadora.

El tubo que ocupa el fondo de la figura facilita el medio para medir las distancias relativas de las rayas en el campo espectral. Para esto se adapta á su extremo opuesto al prisma una placa de cristal en la que está fotografiada ó grabada una escala reducida: al hacerla se ha de tener mucho cuidado en que la reducción sea adecuada al tamaño del

aparato, y por tanto que lleve un número conveniente de divisiones y subdivisiones. Las ordinarias suelen tener 250 en el espacio de 15 milímetros. La luz del gas del alumbrado, que está delante del tubo que describimos, sirve para iluminar la mencionada escala, que puede considerarse como un verdadero *micrómetro*.

Una lente convergente, que lleva este tubo en su extremo inmediato al prisma, hace que los rayos del micrómetro, suficientemente iluminado, caigan paralelos sobre la cara externa y pulimentada del prisma: este los refleja y los hace penetrar en el tubo del anteojo, para lo cual ambos tubos forman ángulos iguales con la superficie del prisma. De este modo la imagen del micrómetro se forma sobre el espectro y es muy fácil medir las distancias relativas de las rayas y marcar sus posiciones.

Las modificaciones realizadas en el espectroscopio con el fin de perfeccionarlo han sido tan acertadas, que hoy existen espectroscopios con un solo tubo, de visión directa y de tan pequeñas dimensiones que se pueden llevar en el bolsillo.

En los de visión directa, cuya aplicación más importante es la del análisis espectral de los astros, el anteojo analizador y el colimador se encuentran en la misma dirección. Una ingeniosa combinación de prismas hace que la luz se disperse en estos espectroscopios sin que por eso se desvíe de su dirección primitiva. Merecen mencionarse el de Hofmann con cinco prismas, y el de Browning con siete.

49. ESPECTROS DE LOS SÓLIDOS Y DE LOS LÍQUIDOS: PRIMERA LEY DE LA ESPECTROSCOPIA.—Sentado el principio de que cada cuerpo produce en estado incandescente un espectro con especiales particularidades, veamos cómo se ha llegado á formular las leyes fundamentales de este método admirable, debidas principalmente á los grandes trabajos realizados por Bunsen y Kirchhoff.

Los cuerpos terrestres pueden encontrarse en uno de estos tres estados fundamentales: *sólido*, *líquido* ó *gaseoso*. El estudio de los espectros producidos por los cuerpos en los

dos primeros ha dado por resultado que los *sólidos* y los *líquidos* en estado incandescente producen *espectros continuos* (Fig. 40); esto es, bandas luminosas sin rayas negras. Este

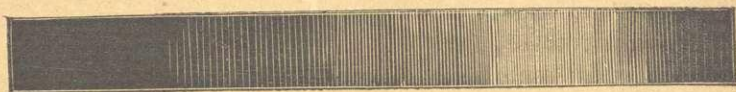


FIG. 40.—ESPECTRO CONTINUO.

resultado al parecer inutil, habida consideración del fin que pretendían los investigadores, es á saber, conocer por el espectro la naturaleza del cuerpo que lo produce, ha permitido sin embargo formular la primera ley de la espectroscopia. Dice así:

1.^a *Todo cuerpo sólido ó líquido hecho incandescente comienza emitiendo rayos menos refrangibles (rojos); elevando su temperatura, aparecen rayos más refrangibles (anaranjados, amarillos), y concluye produciendo un espectro continuo de luz.*

50. ESPECTROS DE LOS GASES Y VAPORES: RAYAS CARACTERÍSTICAS: SEGUNDA LEY DE LA ESPECTROSCOPIA.—Los cuerpos gaseosos, ya sea este su estado ordinario en la Naturaleza, ya lo hayan adquirido los sólidos y los líquidos por medios artificiales, no producen *espectros continuos*, sino *discontinuos*; esto es, no producen una banda luminosa, sino un número determinado de rayas ó líneas brillantes (Fig. 41)



FIG. 41.—ESPECTRO DISCONTINUO.

y más ó menos intensas en determinadas regiones del campo espectral. El sodio, por ej., produce una línea amarilla; el potasio dos, una roja y otra violada; el hidrógeno carbonado tres, una roja, otra azul verdosa y la tercera violada, etcétera.

Las líneas producidas por los gases y vapores se distinguen por su color, por su posición y por su intensidad: son pues suficientes, para reconocer por ellas la naturaleza del cuerpo que las produce: por esta razón se las llama *características*.

Para distinguir entre sí las rayas características de un mismo cuerpo se emplean las letras del alfabeto griego: aplícase la primera *alfa* á la línea más brillante que el cuerpo produce, la segunda *beta* á la que sigue en intensidad ó brillo á la anterior, y así sucesivamente. Por último, para distinguir las de un cuerpo de las de otro cualquiera, se antepone á la letra griega el símbolo químico del cuerpo. Así, las líneas del potasio se indican $K\alpha$ y $K\beta$; las del hidrógeno $H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$ etc.

El análisis de los espectros que producen los cuerpos gaseosos ha permitido formular la segunda ley de la espectroscopia. Dice así:

2.^a *Los gases y vapores incandescentes, producen un espectro discontinuo con rayas brillantes, la posición de las cuales es característica para cada cuerpo.*

51. INFLUENCIA DE LA PRESIÓN Y DE LA TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE LOS ESPECTROS.—La ley que hemos indicado en el número anterior es exacta, cuando se opera á una misma temperatura y además permanecen constantes todas las demás condiciones, mientras se verifica la combustión ó la combinación química necesaria, para obtener la incandescencia de la sustancia cuyo espectro se analiza. Si al operar con compuestos se hace variar la temperatura ó el grado de combustión, se obtienen espectros muy diferentes. Cuando se opera con gases, es muy notable la influencia que ejercen la presión y la temperatura. Según los experimentos del P. Secchi, Wülner, Frankland etc., algunos gases que á bajas presiones dan rayas muy limpias, pueden producir hasta espectros continuos, si se les somete á presiones considerables y á elevada temperatura.

Para examinar los espectros de los gases pueden emplearse los *tubos de Geissler*. Se introduce en uno de estos

tubos el gas y se hace pasar á través de su masa la descarga de un carrete de inducción. Así se observa que un mismo gas produce distintos espectros según sea la tensión de la descarga. Cuando la chispa tiene poca tensión el nitrógeno, por ej., dá un espectro acanalado (*Fig. 42, 1*). Si se aumenta la tensión introduciendo un condensador en el circuito ó valiéndose de cualquier otro procedimiento, el espectro del ni-

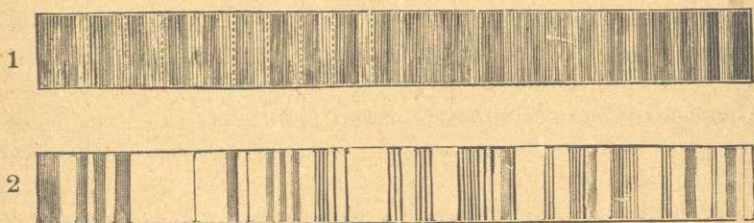


FIG. 42.—ESPECTROS DEL NITROGENO.

trógeno, según notó Plücker, aparece compuesto de rayas aisladas y muy distinto del anterior (*Fig. 42, 2*).

Lo mismo sucede con el hidrógeno, el oxígeno, el carbono etc. Para hacerse cargo de lo complicado que es el análisis de los espectros de estas sustancias, téngase en cuenta que algunas dan hasta cuatro espectros distintos. Así parece que está comprobado respecto del hidrógeno y del oxígeno. Con relación al primero lo afirma el P. Secchi (1); con relación al segundo Mr. A. de la Baume Pluvinel (2), refiriéndose á descubrimientos obtenidos por Mr. Schuster, aunque indica que no falta quien, como Mr. Deslandres, dude de la existencia de alguno de estos espectros.

52. ESPECTROS DE EMISIÓN Y DE ABSORCIÓN: TERCERA LEY DE LA ESPECTROSCOPIA.—Los espectros que producen las sustancias terrestres en estado incandescente y de los cua-

(1) *El Sol.*—tom. I.º, pág. 253 y 54.

(2) En un discurso pronunciado ante la Sociedad Astronómica de Francia en la sesión de 1.º de Febrero del corriente año.—*Bulletin de la Societé*—Juillet.

les hemos hablado en los números anteriores se llaman *espectros de emisión*: se les ha dado este nombre, porque, como se habrá notado, son producidos por la luz que emiten dichas sustancias.

Hay además los espectros llamados de *absorción* los cuales reciben este nombre porque son debidos á la absorción que ejercen los gases y vapores sobre ciertos rayos luminosos, cuando pasan á través de su masa.

Notó Brewster en 1833 que si se hace pasar la luz de una lámpara, que produce un espectro continuo á través del gas ácido hiponítrico, antes de atravesar el prisma, su espectro aparece cruzado por varias rayas oscuras. Este fenómeno de absorción de rayos luminosos por el gas ácido hiponítrico se obtiene también con los vapores de yodo, de bromo, de cloro, de ácido clorhídrico; con el hidrógeno, con el vapor de agua y en general con todos los cuerpos de la naturaleza.

Foucault indicó también al explicar en 1849 el espectro de la luz eléctrica que, quemando sodio en gran cantidad en el arco voltáico, en vez de dar una línea amarilla en el campo espectral, ofrecía un espectro casi continuo con una raya negra en el lugar correspondiente á la amarilla.

A la vista de estos fenómenos tratóse de investigar la causa que los producía. Algunas ideas se habían ya emitido sobre el particular. Eulero había enunciado el principio de que toda sustancia absorbe la luz de la longitud de onda que coincide con las vibraciones de sus más pequeñas partículas, y Angström que un gas luminoso emite rayos de luz de igual refrangibilidad que aquellos que tiene la facultad de absorber. Estas ideas, así como los fenómenos anteriores, permanecían aisladas, hasta que Kirchoff formuló su principio general acerca de este punto, el cual puede considerarse como la tercera ley fundamental de la espectroscopia. Dice así:

3.^a *La relación entre el poder emisivo y el de absorción de una misma clase de rayos es igual para todos los cuerpos á una misma temperatura.*

53. INVERSIÓN DE LOS ESPECTROS.—Formulada la ley

anterior ha sido comprobada por multitud de físicos, químicos y astrónomos y es una de sus más importantes consecuencias el poder explicar con ella, por qué las líneas brillantes y características del sodio litio, hidrógeno etc., se convierten en rayas negras, cuando la intensa luz blanca de un cuerpo sólido ó líquido incandescente pasa á través de estos metales. El espectro del hidrógeno carbonado, por ej., consta de una línea roja, otra azul verdosa y la tercera violeta; el resto del campo espectral permanece oscuro: por la inversa la luz de un cuerpo sólido ó líquido incandescente, después de pasar á través del hidrógeno carbonado á una temperatura más baja, produce un espectro que ocupa todo el campo espectral con sus brillantes colores, excepción hecha únicamente de los lugares en que se encuentran las líneas del hidrógeno que ahora aparecen negras. Estos hechos tienen una explicación satisfactoria en la ley anterior puesto que el hidrógeno como todo gas ó vapor absorbe á baja temperatura precisamente los mismos rayos, que emitiría si estuviese incandescente.

Resulta por consiguiente que los espectros de los gases y vapores se invierten en su iluminación: por esta razón y á propuesta de Kirchoff, que descubrió y explicó este fenómeno, se le ha dado el nombre de *inversión del espectro*.

54. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESPECTRAL AL ESTUDIO DE LOS ASTROS.—Las anteriores nociones son suficientes, para comprender bien y con gran facilidad la aplicación del análisis espectral al estudio de los astros y para percibir además la extraordinaria importancia de este método.

Sabemos por el experimento de Fraunhofer que el espectro del Sol se presenta cruzado por rayas negras: puede pues considerarse como un espectro gaseoso invertido; esto es, las rayas negras de dicho espectro pueden considerarse como el resultado de una absorción ejercida por gases y vapores que se encuentran á una temperatura más baja que el foco radiante y cuya masa es atravesada por la luz solar, antes de llegar á nosotros.

Se comprende ahora facilmente que bastará un sencillo

trabajo de comparación entre las líneas negras del espectro solar y las líneas brillantes de los espectros discontinuos de las sustancias terrestres en estado gaseoso, para concluir que, si ocupan unas y otras el mismo lugar en el campo espectral y además presentan la misma intensidad, es porque la sustancia que produce las líneas brillantes en nuestros laboratorios existe en estado de gas, absorbiendo los rayos de igual refrangibilidad en el Sol, al que pertenece el espectro que estudiamos.

Para comparar ambos espectros pueden emplearse varios procedimientos. Consiste el más sencillo en tener á la vista, ora diseñado, ora fotografiado el espectro de la sustancia terrestre; de este modo al producirse el espectro solar no hay más que compararlos entre sí.

Como todas las seguridades son pocas, cuando se trata de un asunto de tanta importancia, los Astrónomos emplean otro procedimiento, que aunque idéntico en el fondo, es menos susceptible de error. Consiste en disponer de tal manera el espectroscopio que puedan verse al mismo tiempo y uno debajo de otro los dos espectros; el del Sol y el de la sustancia terrestre.

Para esto, como ya ideó Kirchhoff, se coloca en frente de la ranura del colimador (núm. 48) y ocupando la mitad de ella, un prisma de reflexión total, que tiene por objeto enviar al prisma del espectroscopio la luz del cuerpo cuyo espectro se desea comparar con el del Sol. Los rayos luminosos que proceden de este astro entran en el colimador por la otra mitad de la mencionada ranura. Con esta disposición el prisma del espectroscopio forma los dos espectros uno debajo de otro, y el observador puede notar con suma facilidad las rayas de ambos, y ver cuáles son las que coinciden en posición, anchura é intensidad, cuáles presentan solamente una coincidencia parcial, y por último cuáles no coinciden.

Lo que hemos dicho del espectro solar es también aplicable á los espectros que dán los demás astros. "El análisis espectral, podemos pues concluir con el P. Secchi, nos permite sobrepujar los admirables descubrimientos de nuestros predecesores, dándonos medios de conocer la naturaleza de

las sustancias, de que están compuestos los cuerpos celestes,, (1).

55. ADVERTENCIAS SOBRE LA ESPECTROSCOPIA.—1.^a *Espectros infra-rojo y ultra-violado.* Cuando hemos hablado del espectro solar en los números anteriores, solamente hemos mencionado una especie de las radiaciones que lo constituyen, las lumínicas. Pues bien, dicho espectro contiene además radiaciones térmicas y químicas. Enseña el análisis de las primeras que la temperatura no es igual en las distintas regiones del espectro; antes bien que aumenta desde el rayo violado hasta el rojo, y que más allá de este último rayo sigue aumentando hasta un punto en el cual comienza á decrecer: esta parte ha recibido el nombre de espectro *infra-rojo*. Así mismo los distintos rayos del espectro no poseen igual potencia química, sino que el violado es el más enérgico, para obrar la descomposición de ciertos cuerpos. Esta acción química se ejerce también más allá de la región violada del espectro; á esta región se la llama espectro *ultra-violado*.

2.^a *Otros problemas dignos de estudio.*—No hemos podido detenernos en el estudio de algunos problemas relativos á la espectroscopia, que son por cierto muy interesantes.

Dignos son en verdad de ser estudiados con reflexión detenida los problemas que se refieren á determinar la longitud de onda que corresponde á cada uno de los rayos luminosos; al principio de las interferencias; á las analogías y relaciones entre la luz y el sonido, especialmente de la inversión de los espectros con el fenómeno acústico de la resonancia; á la absorción de ciertos rayos luminosos por algunos gases y vapores, aun cuando dichos rayos no coincidan exactamente con los que emitirían ellos en estado incandescente, con tal que sean armónicas sus longitudes de onda, y por último, al procedimiento que ha de emplearse para re-

(1) *El Sol.*—tomo 1.^o, pág. 221.

ferir la posición de ciertas rayas en una escala determinada á la que tienen marcada en la escala normal.

Excepción hecha del último problema, en todos los demás late la teoría de las *ondulaciones*; esta teoría, que gana diariamente nuevos adeptos, que explica todos los fenómenos luminosos, que aproxima y casi reduce á la unidad los distintos agentes físicos, y que hace de la luz, como del calor, de la electricidad y del magnetismo modos de ser de las vibraciones de la materia. ¡Hermoso problema, digno de admiración y de estudio!

§ II.—*Fotografía.*

56. BASE CIENTÍFICA Y OBJETO DE LA FOTOGRAFÍA.—La fotografía se funda, como es sabido, en la acción química que producen los rayos luminosos. Esta acción varía con la sustancia, sobre la cual obra la luz: de aquí que unas veces la luz combine distintas sustancias y que otras las descomponga. Mediante la luz, el oxígeno del aire, por ej., se combina con otros cuerpos y muy especialmente con ciertos productos orgánicos. La luz descompone también muchas sales y principalmente las de plata y oro. Si por medio de una lente se hacen converger varios rayos luminosos sobre una lámina de vidrio recubierta con una capa de cloruro de plata, el cloruro se descompone y ennegrece: los rayos violados y ultra-violados son los que obran, como decíamos en el número anterior, esta descomposición con más rapidez.

Cuando se utilizan rayos reflejados, la acción química, de que hablamos, varía también con la naturaleza de la sustancia que refleja los rayos luminosos. Supongamos que en la cámara oscura se coloca una lámina de cristal, impregnada de una sustancia muy sensible á la acción química de la luz, de yoduro de plata. Hágase que una lente convergente forme sobre esta lámina la imagen de un objeto situado fuera é iluminado. Los rayos luminosos, que proceden de este objeto y que forman su imagen sobre la lámina de cristal, descomponen el yoduro de plata, de tal manera que las partes más claras aparecen más oscuras sobre el cristal por haberse ennegrecido más el yoduro y vice-versa, las partes

más oscuras se presentan más claras sobre la lámina. Ahora bien, como el objeto refleja la luz en todos los puntos de su superficie, el resultado final es que su imagen queda representada sobre el cristal impregnado del yoduro de plata: la imagen así obtenida recibe el nombre de *negativa*, y en ella los blancos del objeto aparecen negros y vice-versa.

Esto supuesto, todo el objeto de la fotografía se reduce á obtener de la imagen negativa otra imagen *positiva* é *inalterable*.

57. ORIGEN Y PROGRESOS DEL ARTE FOTOGRAFICO.— Atribuye el Sr. Feliú la invención del arte fotográfico á un modesto militar retirado, llamado José Niepce, quien después de once años de infructuosas tentativas logró en 1824 obtener varias copias de paisajes en placas metálicas embadurnadas con *betún de Judea*. Asegura el Sr. Arcimis que el principio fundamental de este arte se debe al físico inglés Talbot olvidado durante los grandes triunfos de Daguerre. Otros en fin no hacen mención de los dos anteriores y atribuyen esta invención al célebre Daguerre.

No es necesario que nos hagamos cargo de todas las fases por que ha pasado el arte fotográfico, desde que Daguerre empleó como sustancia sensible á la luz en 1839 el yoduro de plata hasta las variadas y preciosas fotografías que hoy se obtienen. Remitimos al que quiera enterarse de ellas á los libros especiales que se han publicado sobre esta materia. Solamente indicaremos los últimos perfeccionamientos al enumerar las operaciones que es necesario practicar para obtener una fotografía.

Decíamos antes que el objeto de la fotografía es hacer de la negativa una imagen positiva é inalterable, son pues dos las imágenes que es necesario obtener.

1.^ª *Obtención de la negativa*.—Para obtener la negativa, la primera operación es preparar la lámina de vidrio, esto es, depositar sobre el vidrio la capa impresionable. Hasta hace poco se empleaba el colodión disuelto ó el colodión líquido: depositado sobre el vidrio el colodión la lámina se introducía en el baño de plata negativo, y de este mo-

do quedaba formada sobre su superficie la capa de yoduro de plata.

Para obviar los inconvenientes de este procedimiento se emplea hoy el colodión seco y también una emulsión de gelatina y bromuro los cuales permiten guardar las láminas de vidrio ya impresionadas, durante mucho tiempo, sin que pierdan su sensibilidad.

Preparada así la lámina de vidrio se introduce en un bastidor, cuidando de que no se exponga á la luz, hasta que, colocada en la *cámara fotográfica*, haya de recibir los rayos luminosos procedentes del objeto que se ha de retratar. Compónese la cámara fotográfica (*Fig. 43*) de una caja dividida

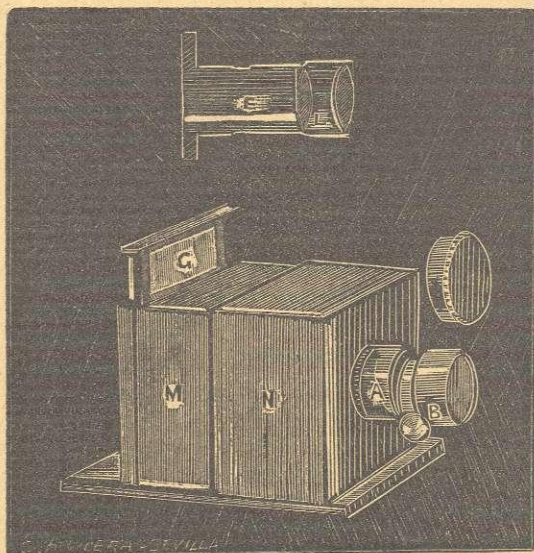


FIG. 43.—CÁMARA FOTOGRAFICA.

en dos partes M, N: la parte N lleva un tubo AB terminado por el objetivo, el cual está formado por dos lentes E, L; un piñón mueve el objetivo por medio de una cremallera, pero sin variar la distancia entre ambas lentes. La parte M es más pequeña, movil y encaja en la anterior; lleva en G un cristal raspado en el que se ha de formar la imagen del objeto que

se desea reproducir: el aparato se *enfoca*, esto es, el cristal G se coloca en el sitio que corresponde exactamente al foco conjugado del objeto, por medio de movimientos que se comunican á la parte M de la caja y al objetivo. Enfocado el aparato, se cubre el objetivo, se saca el cristal raspado y se coloca en su lugar la lámina sensibilizada.

Descubierto el objetivo y pasado el tiempo que se cree necesario para que la luz haya producido su efecto, se cubre de nuevo y solo resta revelar y fijar la imagen para tener la negativa. La revelación y la fijación se obtienen con unas mezclas en que entran como principales factores el ácido pirogálico y el hiposulfito sódico.

2.^a *Obtención de la positiva.*—Para obtener la prueba positiva se coloca el cristal negativo en un bastidor con su correspondiente vidrio sobre una hoja de papel sensibilizado con sales de plata; de este modo se obtiene una imagen positiva de gran delicadeza y modelado. Como estas imágenes se alteran con el tiempo, hoy se sustituyen las sales de plata por bicromatos de amoníaco ó de potasa, unidos á la gelatina y también con las sales de platino, las cuales hacen la imagen positiva más permanente é inalterable.

Cuando sé cree el tono suficientemente fuerte, se retira la hoja de papel, se hace *virar* la tinta por medio de una sal de oro y se fija por último con el hiposulfito sódico.

Solo nos resta decir que de la prueba negativa se pueden obtener todas las positivas que se quieran.

58. **APLICACIÓN DE LA FOTOGRAFÍA AL ESTUDIO DE LOS ASTROS.**—Compréndese con suma facilidad la importancia de la aplicación del arte fotográfico al estudio de los astros. Hay ciertos fenómenos celestes de tan corta duración que el ojo de un observador no puede notar todas las particularidades que ofrecen. Pues bien, por medio de una buena fotografía se pueden percibir muchos de los pormenores del astro ó fenómeno celeste fotografiado, que sin este auxiliar pasarían desapercibidos.

Esta aplicación es por otra parte sumamente sencilla. Consiste esencialmente en sustituir el ocular ora del anteojo,

ora del telescopio por una cámara fotográfica (*Fig. 43*), de tal manera dispuesto el mecanismo que la imagen del astro se forme sobre el vidrio esmerilado, que ha de sustituirse después por la placa sensible. Ahora bien, como los astros están en continuo movimiento á causa de la rotación de la Tierra, es fácil concebir que la dificultad práctica más grave, que entraña este método, consiste en disponer el aparato de tal modo que el astro forme su imagen sobre la placa sensible todo el tiempo que dure la exposición. Obtiénese este resultado por medio de un aparato de relojería que comunica al antejo ó telescopio fotográfico un movimiento contrario al de la rotación de la tierra y con una velocidad tal que el astro colocado en el eje del instrumento no cambia de posición.

Así dispuesto el aparato no hay más que enfocararlo, colocar en vez del vidrio esmerilado de la cámara fotográfica la placa sensible y tener ésta expuesta el tiempo necesario, según sea el astro ó el fenómeno celeste que se quiere reproducir, para obtener la prueba negativa. Las demás manipulaciones son exactamente las mismas que las que se practican para los objetos terrestres.

59. ADVERTENCIAS SOBRE LA FOTOGRAFÍA CELESTE: 1.^a
Origen y progresos.—El astrónomo americano Draper obtuvo en 1840 varias imágenes de la Luna en placas daguerrianas. En 1850 se comenzaron á obtener fotografías del Sol, de la Luna, de los planetas, etc., por Bond, Warren de la Rue, el P. Secchi, Janssen y otros Astrónomos no menos ilustres. En 1860 se aplicó por vez primera el método fotográfico al estudio de los eclipses totales de Sol por el P. Secchi y Warren de la Rue, que vinieron á España para observar el del 18 de Junio. A partir de esta fecha la fotografía celeste se ha perfeccionado tanto que se han obtenido imágenes de casi todos los astros y fenómenos celestes.

2.^a *Mapa fotográfico del cielo estrellado.*—Los progresos de la fotografía celeste permitieron á los Astrónomos reunidos en el Congreso internacional de París en 1887 tomar el acuerdo de construir el *mapa fotográfico del cielo estrellado*.

en cuya elaboración se emplean hoy unos 18 Observatorios esparcidos por toda la Tierra.

3.^a *Espectroscopio fotográfico automático.*—En este aparato empleado por Mr. A. de la Baume Pluvinel (núm. 51) para examinar con toda escurpulosidad si existe ó nó el oxígeno en el Sol, se han reunido todos los adelantos de la espectroscopia y de la fotografía celeste.

4.^a *Aparato fotográfico para investigar si existen planetas transneptunianos.*—Es un aparato cuya construcción pide Mr. A. Benoit para encontrar todo planeta situado entre la distancia 30 y la 160 y cuyo brillo sea superior á la 16.^a magnitud (1).

La fotografía celeste ha respondido, pues, á las grandes esperanzas que en ella habian fundado los Astrónomos. En el transcurso de estas Nociones encontrará el lector los resultados obtenidos por la aplicación tanto de la espectroscopia, como de la fotografía, al estudio de los astros.

(1) Las distancias á que se refiere pertenecen á las marcadas en la ley de Bode.

La descripción de los dos aparatos mencionados se encuentra en los Boletines de la Sociedad Astronómica de Francia, correspondientes á los meses de Julio y Noviembre del corriente año.

CAPÍTULO V

PLAN DE EXPOSICIÓN

60. CONSECUENCIAS QUE SE DEDUCEN DE LOS CAPÍTULOS PRECEDENTES.—De todo lo que dejamos consignado en los capítulos anteriores se desprenden varias consecuencias, de las cuales vamos á enumerar algunas, para que se vea con más claridad el plan de exposición que adoptamos en estas Nociones:

1.^a El campo propio de los estudios astronómicos es la esfera celeste (núm. 1).

2.^a El objeto de la Astronomía es el estudio de los astros y de lo que con ellos se relaciona (núm. 2).

3.^a Los astros se dividen fundamentalmente en dos grandes grupos: estrellas fijas y astros errantes (núm. 12).

4.^a Los astros errantes —los planetas de los Griegos— forman un sistema particular en el concierto del Universo (Cap. 3.^o—art. 2.^o).

5.^a El astro principal de este sistema es el Sol, que ocupa el foco de las elipses que describen á su alrededor los demás astros del sistema (Cap. 3.^o—art. 2.^o).

61. PLAN DE EXPOSICIÓN.—En conformidad con las anteriores consecuencias dividimos estas Nociones de Astronomía en tres partes:

1.^a Comprende el estudio general de la esfera celeste,

ó sea de aquellos problemas, que se refieren á todos los astros ó que son necesarios de una ú otra manera para el estudio de algunos de ellos.

2.^a Comprende el estudio de los astros que forman el sistema solar.

3.^a Comprende el estudio de los demás astros ó sea del Universo sideral.

Llamamos á la primera parte *Uranología* (de ουρανος, ου, cielo y λογος, ου, tratado.); á la segunda *Heliología* (de ήλιος, ου, sol y λογος); á la tercera *Siderología* (de sidus, eris, estrella y λογος)



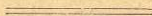
(1) No se me oculta que las dos primeras palabras no son perfectamente adecuadas al objeto que con ellas expreso, pero de las empleadas en la Ciencia estas son, según mi entender, las que lo expresan mejor.— *Venia sit verbis.*



NOCIONES DE ASTRONOMIA



PRIMERA PARTE



URANOLOGIA



Expuestas en la Introducción precedente las nociones que previamente han de poseerse, para entrar con paso seguro en el grandioso edificio de la Ciencia Astronómica, expondremos en esta parte primera ó Uranología los problemas relativos á los astros en general. Asi, al concluir esta parte, el lector se habrá hecho cargo de la disposición de los astros en el Universo, según nos la manifiesta el estado actual de la Astronomía, y además se encontrará en condiciones aptas para estudiar con fruto los que forman el sistema solar y los que constituyen el Universo sideral.

CAPÍTULO I

NOCIONES GENERALES

62. DEFINICIÓN Y FORMA DE LA ESFERA CELESTE.—Se dá en general el nombre de *esfera celeste* á una esfera ideal, que se considera descrita con radio infinito desde el Sol ó desde uno cualquiera de los planetas.

Con relación á nosotros la *esfera celeste* es una esfera ideal, de radio arbitrario, que tiene por centro el ojo del observador y en el interior de la cual proyecta este todos los astros por medio de rayos visuales.

Para comprender bien estas definiciones sean A , A' , A'' (*Fig. 44*) tres astros; EE' una esfera, y T la tierra que se encuentra en su centro. Un observador situado en T verá los tres astros según los rayos TA , TA' y TA'' . Ahora bien; como la distancia á que se encuentran los astros del observador es muy considerable, es evidente que para éste los astros se presentarán como si estuviesen á la misma distancia. Así, las

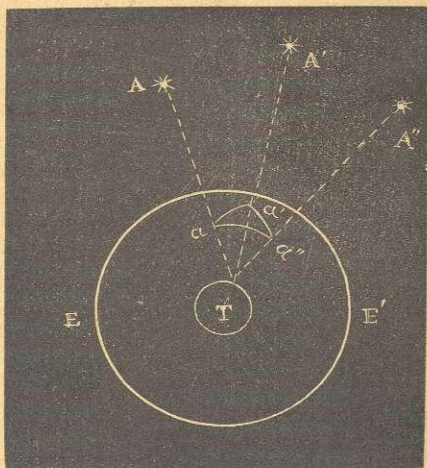


FIG. 44.—ESFERA CELESTE.

posiciones de los tres astros A, A', A'' serán reemplazadas por sus perspectivas a, a', a'' . Los arcos $aa', a'a''$ y aa'' son arcos de círculos máximos de esta esfera, cuyo radio puede aumentarse ó disminuirse, con tal que se le conceda siempre una longitud casi infinita.

La construcción que hemos hecho con los tres astros A, A', A'' puede extenderse á todos los demás; su resultado sería que el observador proyecta todos los astros, sobre una esfera, que siempre tendrá su centro en T.

Dedúcese de lo dicho que la esfera celeste tiene realmente la forma de una esfera gigantesca; que los astros se ven como implantados en su parte interior ó cóncava, y que la Tierra ocupa su centro. Por esta razón todos los hombres, cualquiera que sea su posición sobre la Tierra, ven el cielo (la esfera celeste) sobre sus cabezas.

63. DISTANCIAS ANGULARES.—Se llama *distancia angular* de dos astros el ángulo que tiene por vértice el ojo del observador y por lados los dos rayos visuales, que terminan en ellos. Así, la distancia angular de dos estrellas E y E' (Figura 45) es el ángulo ETE'.

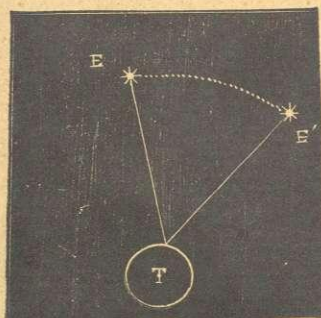


FIG. 45
DISTANCIAS ANGULARES.

Los tres puntos E, T y E' determinan un plano: el valor del ángulo ETE' está por consiguiente medido en la esfera celeste por el arco de círculo máximo EE'. Por esta razón llaman también los Astrónomos distancia angular de dos astros el arco de círculo máximo, que los separa en la esfera celeste.

Las distancias angulares de la casi totalidad de los astros permanecen siempre constantes, como puede comprobarse observando atentamente durante varias noches consecutivas la esfera celeste.

64. DIÁMETROS APARENTES.—Se llama *diámetro aparente* de un astro, el ángulo que tiene por vértice el ojo del

observador y por lados los rayos visuales que terminan en los extremos del diámetro verdadero del astro. Así, si L (Figura 46) es la Luna, y DD' el diámetro de su disco, un observador, situado en un punto O de la Tierra T, verá el diámetro lunar según el ángulo DOD': el valor de este ángulo es el del diámetro aparente de la Luna.

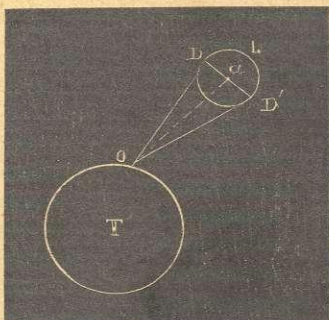


FIG. 46.
DIÁMETROS APARENTES.

Una sencilla ojeada á la esfera celeste basta para saber que el Sol y la Luna se presentan como discos circulares, mientras que los demás astros solo aparecen como puntos brillantes. Con un antejo ó telescopio se nota que algunos de los astros, que á la simple vista eran solamente puntos brillantes, se presentan en el campo del instrumento afectando también la forma de discos circulares, y tanto mayores, cuanto mayor es la potencia del instrumento empleado; estos son los planetas. Los demás astros, ó sean las estrellas, continúan como puntos brillantes. Por esta razón suelen llamar también los Astrónomos diámetro aparente de un astro el ángulo bajo el cual se vé desde la Tierra el diámetro de su disco.

Con más frecuencia se emplea en Astronomía el término *semidiámetro*; no hay necesidad de decir que semidiámetro de un astro es la mitad de su diámetro, ó sea su radio. Así, el ángulo DOa (Fig. 46) será el valor del semidiámetro lunar visto desde la Tierra.

En el triángulo rectángulo OaD, tenemos:

$$Da = OD \times \text{sen. } DOa$$

de donde

$$\text{sen. } DOa = \frac{Da}{DO}$$

fórmula que nos muestra que el semidiámetro de un astro está en razón inversa de su distancia á la Tierra. Así se comprende que las estrellas cuya distancia á la Tierra puede

considerarse como infinita, no se presenten, ni aún vistas con el telescopio, con diámetro sensible, y sí como un punto brillante.

65. PARALAGE: SUS CLASES.—Se dá en general el nombre de *paralage* de un punto cualquiera al ángulo formado en este punto por las rectas que parten de él á los extremos

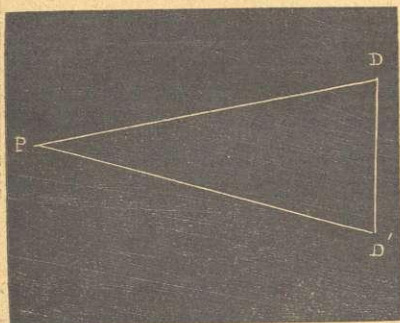


FIG. 47.—PARALAGE.

de una distancia determinada. Así, la paralage del punto P (Fig. 47) con relación á la distancia DD' es el ángulo DPD'. Si ahora suponemos en P el ojo de un observador, este verá la distancia DD' bajo el ángulo DPD'. Por esta razón suele definirse la paralage, el ángulo bajo el cual se vé desde un punto dado una distancia dada.

Cuando se trata de los astros que constituyen el sistema solar, la distancia dada es el semidiámetro de la Tierra y el punto el astro. Por tanto, se llama paralage del Sol, de la Luna, de Júpiter, etc. el ángulo bajo el cual se vé desde el Sol, la Luna, Júpiter, etc., el radio de la Tierra.

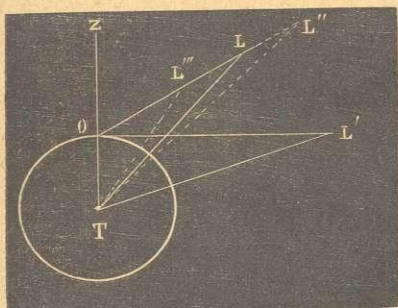


FIG. 48.—CLASES DE PARALAGE.

Así, si T (Fig. 48) es la Tierra, O un punto de su superficie en el cual se encuentra un observador y L la Luna, el ángulo OLT es la paralage lunar.

Se nota fácilmente inspeccionando la figura que, si la línea LT se hace coincidir con la ZT, no habrá ángulo en L, ni por consiguiente paralage. Si, á partir de la recta ZT, hacemos girar la LT hácia la derecha, la paralage aumentará constantemente hasta llegar L á la posición L' en donde se-

rá máxima. La paralage, de que venimos hablando, se llama *paralage diurna*: esta recibe el nombre de *paralage horizontal*, cuando el astro se encuentre en L', ó sea, en el horizonte; las demás se denominan *paralages de altura*.

Se comprende también que, si el astro se encontrase en L'', su paralage disminuiría, así como aumentaría, si estuviese en L'''. Así lo evidencia un sencillo cálculo geométrico. El ángulo OL'''T es exterior al triángulo TLL'''; por consiguiente OL'''T = L'''LT + LTL'''. Por la misma razón el ángulo OLT = LL''T + LTL''.

Aplicando el cálculo trigonométrico se puede deducir una fórmula general, en que se contengan los casos particulares enumerados.

En efecto; el triángulo OLT nos dá:

$$\text{sen. OLT} : \text{OT} :: \text{sen. TOL} : \text{LT} \quad (\alpha)$$

Trazando la línea L'O tangente á la esfera T en el punto O, esta línea es perpendicular á la ZT en dicho punto O.

Tenemos por construcción que el ángulo TOL = 90° + LOL'; igualdad que puede convertirse en esta otra, sen. TOL = sen. (90° + LOL') y esta en sen. TOL = cos. LOL'; sustituyendo en (α) sen. TOL por su igual cos. LOL' resulta:

$$\text{sen. OLT} : \text{OT} :: \text{cos. LOL}' : \text{LT} \quad (\beta)$$

Ahora bien; el ángulo OLT es la paralage; OT el radio de la Tierra y LT la distancia del astro á la Tierra. Llamando π á la paralage, ρ al radio y δ á la distancia, tendremos:

$$\text{sen. } \pi : \rho :: \text{cos. LOL}' : \delta \quad (\gamma)$$

de donde

$$\text{sen. } \pi = \frac{\rho \times \text{cos. LOL}'}{\delta} \quad (\delta)$$

fórmula que nos dice que el valor de la paralage de un astro está en razon directa del radio terrestre y del ángulo que forma con la vertical en el punto del observador, é inversa de su distancia á la Tierra.

Veamos ahora, como esta fórmula contiene los casos particulares, que pueden presentarse.

Supongamos ρ y $\cos. LOL'$ constantes: el valor de π depende de δ . Si δ aumenta π disminuye y vice-versa. Así, á medida que un astro está más distante de la Tierra, disminuye su paralage.

Si ρ y δ son constantes, π depende de $\cos. LOL'$. Si este aumenta, π aumenta y si disminuye, π disminuye también. Así, cuando el astro está en la línea TOZ, $\cos. LOL'=o$ y no hay paralage: cuando se encuentra en L' , $\cos. LOL'=90^\circ$, paralage máxima ú horizontal (1).

Si ρ y $\cos. LOL'$ son constantes y $\delta = \infty$, π será igual á o. Dícenos este resultado que las estrellas, cuya distancia á la Tierra es casi infinita, no tendrán paralage diurna. Así es en efecto, puesto que las dimensiones de nuestro globo son tan pequeñas con relación á las distancias tan considerable

de las estrellas, que un observador situado en la más próxima lo vería como un punto, ó mejor y con más exactitud, no lo vería.

Esto ha hecho que los Astrónomos busquen otro término de comparación. Se han fijado para ello en las dimensiones del semi-eje mayor de la elipse que la Tierra describe anualmente alrededor del Sol. En este sentido se llama *paralage anual*, ó simplemente *paralage* de una estrella, el ángulo bajo el cual se vería desde esta estrella el semi-eje mayor de la órbita de la Tierra. Así, si E (Fig. 49)

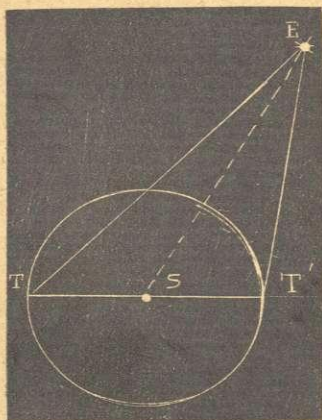


FIG. 49.—PARALAGE ANUA.

es una estrella, TT' la órbita de la Tierra y TS el semi-eje

(1) Si $\cos. LOL'$ y δ son constantes, π depende de ρ . De aquí se podría deducir que la paralage de un astro es la misma, cualquiera que sea el punto de la observación. Así sería en efecto, si la Tierra fuese una esfera perfecta. Mas como hoy se admite que está un poco aplana-da por los polos y ensanchada por el ecuador, es evidente que los radios terrestres ecuatoriales son mayores que los polares, y por tanto que la paralage de un astro será mayor tomada en el ecuador que tomada en los polos.

mayor, el ángulo TES es la paralage de la estrella E.

Es claro que los cálculos anteriores podrían repetirse en esta nueva construcción; así veríamos que dan los mismos resultados. Mas adelante y en lugar oportuno se hará notar la influencia de la paralage en las observaciones astronómicas, su valor para cada astro y la íntima relación que tiene con la medida de la distancia de un astro á la Tierra.

66. FUNDAMENTOS DE LA DIVISIÓN DE LOS ASTROS EN DOS GRANDES GRUPOS.—Las nociones expuestas en los números anteriores suministran los datos necesarios, para comprender bien la división fundamental de los astros en dos grupos: *estrellas fijas y astros errantes*.

Llamaron los Astrónomos Griegos (número 12) á todos los astros de la segunda clase planetas (del griego *πλανήτης*, *ω*, astro errante), comprendiendo por tanto al Sol y á la Luna.

Hoy no puede adoptarse esta denominación griega, á pesar de que la palabra planeta signifique astro errante. Los descubrimientos, que se han realizado en la Ciencia Astronómica (Cap. 2.º, art. 2.º), han demostrado que los astros errantes forman un sistema, el solar, y que pueden subdividirse en varios grupos, para uno de los cuales se emplea la palabra planeta.

Los astros pues se dividen en dos grandes grupos 1.º Los que forman el sistema solar. 2.º Las estrellas fijas.

Comprende el primer grupo el Sol, centro y foco del sistema; los Planetas, que giran inmediatamente alrededor del Sol, recibiendo y reflejando la luz que este astro les envía; los Satélites, que giran inmediatamente alrededor de los planetas y con ellos alrededor del Sol, cuya luz también reciben y reflejan, y los Cometas, que aun cuando giran alrededor del Sol inmediatamente, no pueden confundirse con los planetas, por la gran excentricidad de sus órbitas, y por el estado de la materia que los constituye.

El segundo grupo, ó sean las estrellas, comprende ese incalculable número de astros, que excepción hecha de los del sistema solar se encuentran diseminados por las profundidades del espacio.

Para conocer á cual de los dos grupos anteriores pertenece un astro, no hay más que examinarlo detenidamente y repetir las observaciones. Si el astro en cuestión presenta diámetro aparente, tiene paralage diurna y cambia de posición en virtud de movimientos propios con relación á las estrellas, este astro pertenece al sistema solar. De lo contrario es una estrella.

Suele también indicarse como medio de conocer un astro el *centelleo* de su luz. Asi, si la luz de un astro no se presenta siempre tranquila, antes bien, ora parece extinguirse ora reanimarse; unas veces emite rayos de un color, otras de otro, como verdes, rojos, etc., este astro será una estrella. Mas si su luz se presenta tranquila, ó si centellea y se agita, este centelleo y agitación es muy debil, pertenece al sistema solar.

CAPITULO II

COORDENADAS CELESTES

Uno de los problemas más importantes, que ha de resolver el Astrónomo, es el de fijar la posición de un astro ó de un punto sobre la esfera celeste. Para conseguirlo, se emplean en Astronomía varios sistemas de coordenadas, que expondremos con brevedad.

ARTICULO I.

TEORIA FUNDAMENTAL DE LAS COORDENADAS.

67. DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DE UN PUNTO EN UN PLANO.—La posición de un punto en un plano se puede determinar sencillamente del modo siguiente. Sea un punto P (Figura 50) que se encuentra en el plano del papel y cuya posición se quiere determinar. Para ello se trazan en el plano las dos rectas indefinidas Yy , Xx , que se cortan en O , formando un ángulo cualquiera, pero que nosotros supondremos recto. Desde el punto P se tiran otras dos rectas PA' y PA respectivamente paralelas á las Yy , Xx . Se comprende con facilidad que conociendo las distancias PA' y PA está perfectamente determinada la posi-

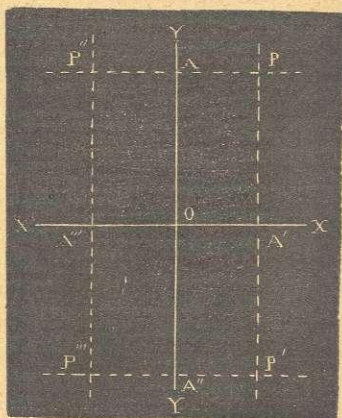


FIG. 50

COORDENADAS EN UN PLANO.

cion del punto P, puesto que no hay más que dicho punto en el ángulo YOX, que diste de las rectas Yy, Xx las magnitudes PA y PA'.

La línea PA, ó su igual la OA' se llama la *abscisa* del punto P; PA' ó su igual la OA la *ordenada*; Yy *eje de las ordenadas*, y Xx *eje de las abscisas*. Las abscisas y las ordenadas juntas reciben el nombre de *coordenadas*: en este caso las líneas Yy, Xx son los *ejes de las coordenadas*, y el punto O, á partir del cual se cuentan, *origen de las coordenadas*, ó sencillamente el *punto de origen*.

Si el problema se nos presentara desde otro punto de vista, á saber, dadas las distancias de un punto á los ejes coordenados Yy, Xx, determinar la posición del punto en el plano, se procedería del modo siguiente:

Se desea, por ej., determinar la posición de un punto cuya abscisa sea de un centímetro y cuya ordenada sea de dos centímetros. Sobre la línea Yy, eje de las ordenadas, tómense á uno y otro lado del punto de origen O dos centímetros, ó sean las magnitudes OA y OA'', y trácense por los puntos A y A'' dos paralelas á la línea Xx, eje de las abscisas, ó sean PP'' y P'P'''. Del mismo modo tómense sobre Xx dos distancias de un centímetro á uno y otro lado del punto de origen O, ó sean OA' y OA''', y por los puntos A' y A''' trácense dos paralelas á Yy, ó sean PP' y P''P''''. Es evidente que los cuatro puntos P, P', P'' y P''' en que se cortan las paralelas trazadas satisfacen las condiciones del problema.

Para determinar con toda exactitud, cuál de estos puntos es el que se desea conocer, se ha convenido en considerar como positivas las abscisas que se cuentan hácia la derecha del punto de origen y como negativas las que se cuentan hácia la izquierda. Así mismo las ordenadas que se cuentan desde el punto de origen hácia Y se consideran positivas y negativas las que se cuentan en sentido contrario. Para distinguir en las fórmulas, las positivas de las negativas, se afectan las primeras con el signo + y las segundas con el —.

Con estos procedimientos queda perfectamente determinada la posición de cualquier punto en un plano. Así la posición del punto P es + 1 cent. de abscisa y + 2 cent. de

ordenada y la del P'', — 1 cent. de abscisa y + 2 cent. de ordenada, etc.

Además del sistema de coordenadas expuesto, se usan otros muchos para determinar la posición de un punto en un plano. Importa conocer el de las *rectilíneas polares* por su aplicación en la Astronomía.

Sea P un punto (Fig. 51); O el origen, que recibe el nombre de *polo*; OX se llama *eje polar*; OP, la distancia polar del punto P, es el *radio vector* y A el ángulo que el radio vector forma con el eje polar. Es evidente

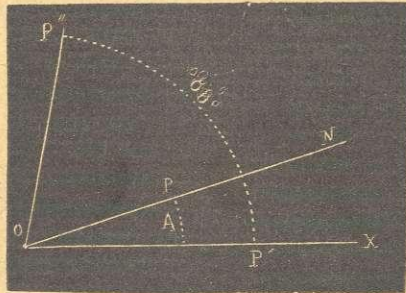


FIG. 51.
COORDENADAS POLARES EN UN PLANO.

que la posición del punto P está perfectamente determinada. En efecto; dicho punto ha de encontrarse en el radio vector OPN, por ser dicho radio el que forma con el eje polar OX un ángulo igual á A, y además ha de coincidir con P, porque de todos los puntos, situados en la línea OPN, solamente el P dista de O la magnitud OP. El radio vector y el ángulo, que este radio forma con el eje polar, son las *coordenadas polares*. Para que por medio de estas coordenadas se pueda determinar la posición de un punto cualquiera sobre un plano, se pueden hacer varias convenciones. Una de las más sencillas es la que exige que el radio vector pueda aumentar desde O hasta el infinito positivo y el ángulo A desde 0° hasta 360°. Otra sería la de contar los ángulos hasta 180° á uno y otro lado del eje polar, afectando con el signo + los contados en la dirección P' P'' y con el signo — los contados en dirección contraria.

Si ahora se nos pidiera la posición de un punto cuyas coordenadas fuesen:

$$\begin{aligned} \text{Radio vector} &= 2 \text{ cent., } 8 \text{ milím.} \\ \text{Angulo } A &= 80^\circ \end{aligned}$$

procederíamos del modo siguiente. Sobre el eje OX tomaríamos una magnitud OP' = 2 cent., 8 milím. Haciendo cen-

tro en O y con una abertura de compás igual á OP' , trazariamos un arco $P'P'' = 80^\circ$: el punto P'' es el punto pedido, puesto que dicho punto dista de O la magnitud $P''O = P'O = 2\text{ cent.}, 8\text{ milim.}$, y la recta $P''O$ forma con la $P'O$ un ángulo igual á 80° .

68. DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DE UN PUNTO EN EL ESPACIO.—La posición de un punto en el espacio se determina también con gran facilidad. Sea P (Fig. 52) el punto. Trazando los planos indefinidos XOY , XOZ y ZOY , perpendiculares entre si, y las distancias PP' , PP'' y PP''' del punto P á estos planos, es claro que, conociendo las distancias mencionadas, está determinada la posición del punto P , puesto que no

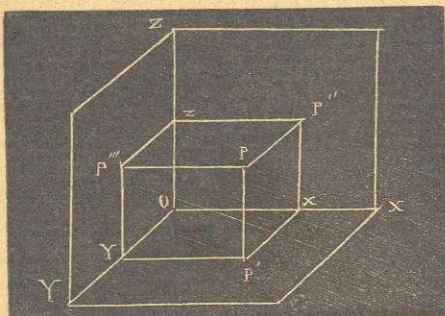


FIG. 52.

COORDENADAS EN EL ESPACIO.

hay ningún otro punto, que diste estas tres magnitudes de los planos XOY , XOZ y ZOY . Estos tres planos se llaman *planos coordenados*; las líneas PP' , PP'' y PP''' ó sus iguales Oz , Oy y Ox (1) son las *coordenadas* del punto P ; las líneas OX , OY y OZ en las que se cuentan las coordenadas y que son las intersecciones de los planos coordenados, reciben el nombre de *ejes de las coordenadas*; el punto O continúa llamándose el *punto de origen*; por último los puntos P' , P'' y P''' , en que las tres coordenadas del punto P cortan los planos coordenados, no son sino las proyec-

(1) Con objeto de que se note con más facilidad la igualdad de las líneas PP' y Oz , PP'' y Oy y PP''' y Ox se ha trazado en la figura el paralelepípedo OP . La línea PP' es igual á $P''y$ y por lados opuestos de un paralelogramo, y por la misma razón $P''y$ es igual á Oz ; luego $PP' = Oz$, etc.

ciones ortogonales (1) de este punto hechas sobre dichos planos por paralelas á los ejes de las coordenadas.

Así como se dan innumerables sistemas de coordenadas, para fijar la posición de un punto en un plano, así también se dan en el espacio. Uno de estos sistemas es el que hemos explicado y otro el que se conoce con el nombre de *coordenadas polares*, que por ser el que más nos interesa, explicaremos con brevedad.

Sea XY (Fig. 53) un plano fijo é indefinido; OZ una rec-

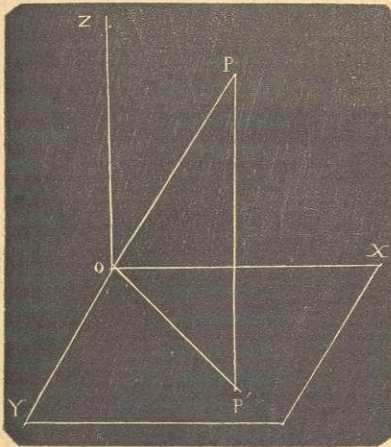


FIG. 53.

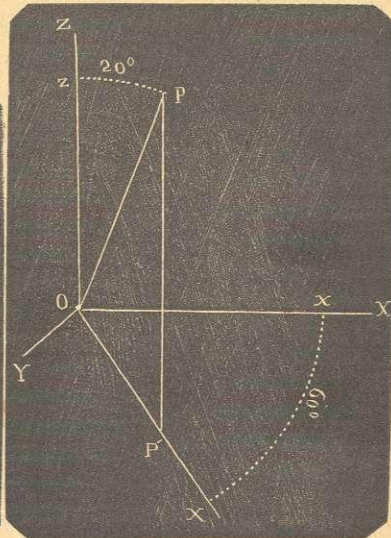


FIG. 54.

COORDENADAS POLARES EN EL ESPACIO.

ta indefinida, fija y perpendicular al plano XY; OX otra recta también indefinida y situada en este mismo plano; P un punto en el espacio que dista de O la magnitud de su radio vector OP; P' la proyección del punto P sobre el plano XY. Esto supuesto, se comprende con facilidad que el punto P está determinado, si se conocen la longitud del radio vector

(1) Son ortogonales porque hemos supuesto los planos perpendiculares entre sí; en otro caso serían proyecciones oblicuas.

OP, que llamaremos R; el valor del ángulo que R forma con la recta fija OZ, que llamaremos A, y el valor del ángulo que OP', proyección del radio vector sobre el plano XY, forma con la recta fija OX, que llamaremos A'. En efecto, el valor del ángulo A' nos dá el plano perpendicular al XY en que se encuentra P, y la longitud de R y el valor del ángulo A nos dan el punto de este plano en que está P; luego su posición está determinada.

Si se nos pide ahora la posición de un punto en el espacio cuyas coordenadas sean:

$$R = 3 \text{ centím.}$$

$$A = 20^\circ$$

$$A' = 60^\circ$$

lo determinaremos del modo siguiente. Trazaremos en primer término un plano indefinido XY (*Fig. 54*); en él una recta indefinida OX, y por el punto O levantaremos una recta OZ, perpendicular al plano XY, é indefinida. Haciendo centro en O y con un radio arbitrario Ox, describiremos un arco xx' de 60° , y uniremos el punto x' con O por medio de una recta x'O. Así tendremos que el punto pedido ha de estar en el plano determinado por las rectas x'O y OZ, puesto que este plano es el único que forma con el XOZ un ángulo diedro, cuyo ángulo plano XOx' sea de 60° . Enseguida tomaremos sobre la recta indefinida OZ una magnitud Oz = 3 centímetros. Haciendo centro en O y partiendo de z, describiremos con una abertura de compás de 3 centímetros un arco de 20° , zP: el punto P es el punto pedido.

En efecto; trazando su radio vector OP y proyectándolo sobre el plano XY, tendremos:

$$R = OP = Oz = 3 \text{ centím.}$$

por ser radios de una misma circunferencia;

$$A = POz = 20^\circ,$$

por ser el arco zP = 20° , y por último

$$A' = xOP' = 60^\circ$$

por ser el arco xx' = 60° .

69. DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DE UN PUNTO SOBRE UNA ESFERA.—La determinación de la posición de un punto sobre una esfera no es más que un caso particular de la determinación de la posición de un punto en el espacio.

Sea $MPM'P'$ (Fig. 55) una esfera, T su centro y E un punto, cuya posición se quiere determinar. Trazando un plano fundamental MM' , cuya intersección con la esfera sea un círculo máximo, y en el plano la línea fija Tx , y el diámetro PP' , cuyos puntos PP' sean los polos del círculo máximo MxM' , tendremos que la posición del punto E está determinada (número 68), si se conocen el valor de $R = TE$, el del ángulo $A = ETP$ y el del ángulo $A' = E'Tx$.

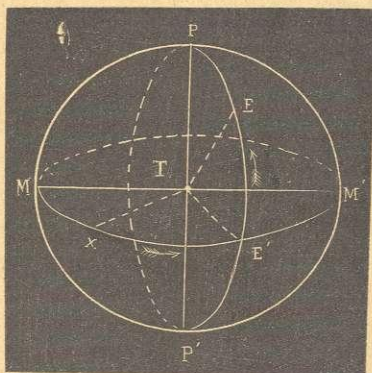


FIG. 55.

COORDENADAS EN UNA ESFERA.

Se comprende también con facilidad que, si se hace abstracción del valor de R , la posición del punto E se puede determinar por los dos arcos de círculo máximo xE' y $E'E$.

En efecto; el arco xE' nos dá el círculo máximo $E'PP'$ en que ha de estar el punto E , y el arco $E'E$ el punto de este círculo máximo en que se encuentra. Para que por este sistema de *coordenadas esféricas* se pueda determinar la posición de un punto cualquiera de la esfera, se cuentan los arcos del círculo máximo MxM' á partir de x , en la dirección de la flecha y de 0° á 360° , y los del círculo máximo vertical al anterior, á partir de E' en la dirección de la flecha y también de 0° á 360° . No hay necesidad de advertir que se pueden establecer otras convenciones en orden á contar los arcos, sin que por esta variación deje de determinarse exactamente la posición de un punto sobre una esfera.

70. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS COORDENADAS Á LA ESFERA CELESTE.—La ciencia astronómica considera la esfe-

ra celeste como una esfera perfecta; es por consiguiente muy fácil aplicarle la teoría de las coordenadas, y mediante esta aplicación determinar la posición de un astro en dicha esfera. Solo se requiere para ello que la esfera celeste nos ofrezca un plano fundamental, cuya intersección con la esfera sea un círculo máximo, y un eje perpendicular á aquel plano, cuyos extremos sean los polos de este círculo. Pues bien, los Astrónomos han supuesto en la esfera celeste varios planos fundamentales y cada uno con su eje perpendicular. Con relación á estos planos se dividen y denominan los varios sistemas de coordenadas celestes, de que se hace uso en Astronomía.

ARTICULO II.

PLANOS Y CIRCULOS FUNDAMENTALES DE LA ESFERA CELESTE.

71. LINEA VERTICAL: ZENITH Y NADIR: HORIZONTE.—Se llama *línea vertical* la prolongación indefinida é ideal de la línea que une el centro de la Tierra con los pies del observador; el punto en que toca á la esfera celeste sobre la cabeza del observador recibe el nombre de *zenith*, y su opuesto

el de *nadir*. La dirección de la línea vertical está representada por la *plomada* (núm. 8, fig. 4.^a).

Dada la definición de horizonte *visual ó sensible* (número 1), se llama horizonte *verdadero* de un punto de la Tierra el plano perpendicular á la línea vertical y tangente á la superficie de la Tierra en dicho punto. Si O (Fig. 56) es el ojo de un observador, elevado sobre el nivel del suelo una cantidad OT, el horizonte aparente estará representado por la curva hh'h''h''', y el verdadero por la recta HH', intersección de este plano con el plano de la figura; el ángulo H'Oh'' es lo que se llama *depresión del horizonte*,

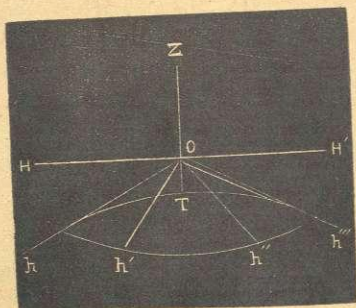


FIG. 56
DEPRESIÓN DEL HORIZONTE

representado por la curva hh'h''h''', y el verdadero por la recta HH', intersección de este plano con el plano de la figura; el ángulo H'Oh'' es lo que se llama *depresión del horizonte*,

que aumenta á medida que el observador se eleva sobre el suelo.

Horizonte *racional* es un plano, paralelo al del horizonte verdadero, que pasa por el centro de la Tierra y que suficientemente prolongado determina un círculo máximo en la esfera celeste, dividiéndola en dos partes iguales. El eje de este plano es la línea vertical y sus polos el zenith y el nadir.

72. EJE DEL MUNDO: POLOS.—ECUADOR: HEMISFERIOS.— Se llama *eje del mundo* la línea alrededor de la cual parecen girar los astros (núm. 1): los puntos en que toca á la esfera celeste se denominan *polos del mundo*. El visible en Europa recibe el nombre de *Norte, Boreal, Artico* ó *Septentrional*: el opuesto *Sud, Austral, Antártico* ó *Meridional*.

Ecuador celeste es el círculo máximo de la esfera celeste, cuyo plano es perpendicular al eje del mundo. Divide la esfera en dos partes iguales llamadas *hemisferios*: el que contiene el polo boreal, se llama hemisferio boreal, ó del Norte; el que contiene el polo austral es el hemisferio austral, ó del Sud. El eje del plano ecuatorial es el eje del mundo, y sus polos los del mundo.

73 ECLIPTICA: ZODIACO.— OBLICUIDAD DE LA ECLIPTICA. — Se dá el nombre de *eclíptica* al plano de la órbita que la Tierra describe alrededor del Sol, prolongado hasta la esfera celeste, en la cual determina un círculo máximo. Divide por consiguiente á dicha esfera en dos partes iguales, que se llaman *hemisferios*; aquel en que está el polo Norte del mundo se denomina *boreal* ó *superior*; su opuesto *austral* ó *inferior*.

Zodiaco es una zona ó faja de unos 18 grados de anchura, situada en la esfera celeste, y en la cual están comprendidas la eclíptica y las órbitas de los demás planetas. Los antiguos dividieron esta zona en doce partes iguales de 30 grados cada una y á las cuales llamaron *signos del Zodiaco*.

A continuación los enumeramos, indicando su orden, nombre, número de grados y signos con que se representan.

Adviértase que se comienza en el punto de *Aries* y se sigue de Occidente á Oriente, esto es, en sentido contrario al del movimiento aparente de las estrellas.

Número de orden	Nombres	Número de grados	Signos
I	Aries	00	♈
II	Tauro	30	♉
III	Geminis	60	♊
IV	Cancer	90	♋
V	Leó	120	♌
VI	Virgo	150	♍
VII	Libra	180	♎
VIII	Escorpion	210	♏
IX	Sagitario	240	♐
X	Capricornio	270	♑
XI	Acuario	300	♒
XII	Piscis	330	(1). ♓

Los planos de la eclíptica y del ecuador forman un ángulo de 23 grados, 27 minutos y 57 segundos, que se llama *oblicuidad de la eclíptica*: los dos puntos de intersección de los círculos máximos que estos planos determinan en la esfera celeste se llaman *puntos equinocciales de Aries y de Libra*, ó *punto vernal* el primero y *autumnal* el segundo.

El diámetro de la esfera celeste, que es perpendicular al plano de la eclíptica, toca á la esfera en dos puntos, distantes 23 grados, 27 minutos y 57 segundos de los polos del mundo: estos dos puntos son los *polos* de la eclíptica.

74. MERIDIANO: LINEA MERIDIANA.—PUNTOS CARDINALES: ORIENTACIÓN.—Se llama *meridiano celeste* ó *plano meridiano* el plano que pasa por el eje del mundo y por la línea vertical: su intersección con la esfera celeste es un círculo máximo, llamado *circulo meridiano* ó simplemente *meridiano*, que

(1) Atribúyense á Ausona dice Garcet, los versos mnemotécnicos siguientes, para recordar con facilidad el orden y el nombre de los signos;

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Piscis.

pasa por los polos del mundo y por el zenith y el nadir del observador, y que divide á la esfera celeste en dos partes iguales ó *hemisferios*; el que se encuentra al Oriente del observador se llama *hemisferio oriental*, y su opuesto *occidental*. De los dos semicírculos en que se divide el círculo meridiano, se llama *meridiano superior* el que pasa por el zenith del observador, é *inferior* el que pasa por el nadir.

La línea de intersección del plano meridiano con el plano del horizonte se llama *línea meridiana* ó simplemente *meridiana*, y también *línea Norte-Sud*, porque de sus dos extremos el más próximo al polo del Norte, se llama sencillamente NORTE, y su opuesto SUD.

La línea de intersección del plano ecuatorial con el del horizonte y que es perpendicular á la meridiana se llama *línea Este-Oeste*, porque de sus dos extremos el que está al Oriente con respeto al Zenith, se denomina simplemente ESTE, y su opuesto OESTE.

Los cuatro puntos Norte, Sud, Este y Oeste se llaman los cuatro *puntos cardinales*. Se indican abreviadamente N. S. E. O. (1).

Se llama *orientación* de un lugar la determinación en él de los cuatro puntos cardinales.

75. COLUROS.—TRÓPICOS.—CIRCULOS POLARES.—Se llama *coluro de los equinoccios* un círculo máximo de la esfera celeste, que pasa por los polos del mundo y por los puntos equinocciales. *Coluro de los solsticios* el que pasa por los polos del mundo y por los de la eclíptica: los puntos de intersección del coluro de los solsticios con la eclíptica se denominan *puntos solsticiales*, de *Cancer* el que se encuentra en el hemisferio boreal y de *Capricornio* el que está en el austral.

Trópicos son dos círculos mínimos de la esfera celeste, paralelos al ecuador y que pasan por los puntos solsticiales: el del hemisferio boreal se llama *trópico de Cancer*, y el del austral de *Capricornio*.

(1) Así se designan ordinariamente en español. Por convención internacional, dice el P. Müller, el punto OESTE se designa en la ciencia con la doble W.

Círculos polares son dos círculos mínimos de la esfera celeste, paralelos al ecuador y que pasan por los polos de la eclíptica; se denominan *ártico* ó *antártico*, según el hemisferio en que se encuentran.

76. CONSECUENCIAS QUE SE DEDUCEN DE LOS NÚMEROS ANTERIORES.—Cada uno de los círculos máximos indicados se divide en 360 partes iguales, ó *grados*; cada grado en 60 *minutos*, y cada minuto en 60 *segundos*. Los grados, minutos y segundos de arco se expresan con un cerito, una comita y dos comitas respectivamente, colocadas á la derecha del número y en su parte superior. Así, $20^{\circ} 35' 67''$ se lee 20 grados, 35 minutos y 67 segundos.

Esto supuesto, y teniendo en cuenta las definiciones dadas en los números anteriores, es evidente que cada círculo máximo dista 90° de sus polos correspondientes; que los polos de la eclíptica y los círculos polares distan $23^{\circ}, 27'$ y $57''$ de los polos del mundo, y $66^{\circ}, 32'$ y $03''$ del ecuador; que los trópicos y los puntos solsticiales distan $23^{\circ}, 27'$ y $57''$ del ecuador y $66^{\circ}, 32'$ y $03''$ de los polos del mundo; que los puntos equinocciales, distan 90° de los polos del mundo y de los polos de la eclíptica; que en este círculo cada punto equinoccial dista 90° de los solsticiales, y cada punto solsticial dista 90° de los equinocciales y de los polos de la eclíptica; que en el ecuador el punto vernal dista 180° del autumnal y vice-versa; y por último que en el horizonte cada uno de los puntos cardinales dista 90° de su inmediato y del zenith y nadir, y los puntos N. y S. una cantidad variable, según el lugar que ocupe el observador, del ecuador, de la eclíptica y de los polos de estos dos círculos.

La figura 57 llamada *esfera armilar*, comprueba todo lo que hemos dicho en este artículo.

ARTICULO III.

1.^{er} SISTEMA.—COORDENADAS HORIZONTALES.

77. TEORÍA DE LAS COORDENADAS HORIZONTALES.—Se llama en general *plano vertical* todo plano que contiene la línea vertical; pasa por consiguiente por el zenith y nadir del

observador. *Vertical primario* es el plano vertical, que pasa por los puntos E y W. *Vertical de un astro* es el plano vertical, que pasa por el centro del mismo astro.

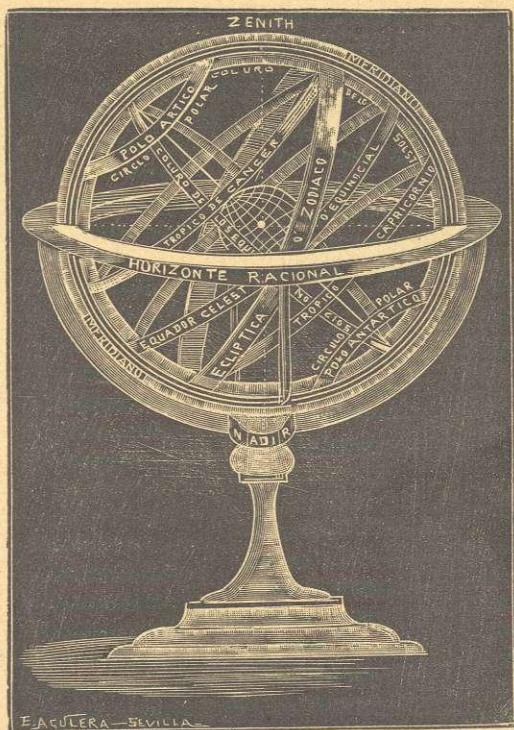


FIG. 57.—ESFERA ARMILAR.

Almicantaraes son unos círculos menores de la esfera celeste, paralelos al horizonte.

Esto supuesto, veamos cómo se determina la posición de un astro sobre la esfera celeste por sus coordenadas horizontales.

Sea T (*Fig. 58*) la posición de un observador sobre la Tierra: $NxSx'$ el horizonte; ZTN' la línea vertical: E' un astro, cuyo plano vertical es $ZE'N'Z$.

Se llama *azimut* de un astro el ángulo diedro, que forma el plano vertical del astro con otro plano vertical, fijo y es-

cogido de antemano. Los Astrónomos han designado para este efecto el que pasa por los polos del mundo, esto es, el meridiano del lugar. Así, si NZSN' representa el vertical fijo, el ángulo diedro SZN'E' es el *azimut* del astro E'. Ahora bien; como la medida de todo ángulo diedro es la de su ángulo plano, es evidente que el azimut del astro E' es igual al ángulo STe, formado en el ojo del observador por la línea meridiana y la proyección sobre el horizonte del rayo visual del astro. Se comprende que, siendo el valor del ángulo STe el del arco Se, comprendido entre sus lados, se defina también el azimut de un astro, el arco de horizonte comprendido entre el vertical

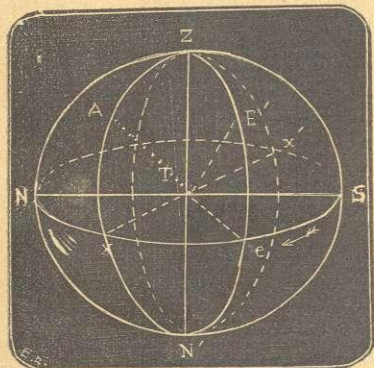


FIG. 58.
COORDENADAS HORIZONTALES.

fijo y el vertical del astro.

Los azimuts se cuentan ordinariamente de 0° a 360° , partiendo del punto Sud en la dirección de la flecha y también de 0° a 90° , partiendo de los puntos Norte y Sud, según que el astro se observe al N. ó al S.

Se llama *altura* de un astro el ángulo que forman el rayo visual, que va del ojo del observador al astro y su proyección sobre el horizonte. Así, el ángulo E'Te es la altura del astro E' y el ATx la del astro A. La medida de estos ángulos es el arco del vertical del astro, E'e para E' y Ax para A. Así se comprende que se defina también la altura de un astro, la distancia que hay del astro al horizonte, medida en su vertical. Cuando el astro se encuentra debajo del horizonte su altura se llama *depresión*.

Las alturas de los astros se cuentan de 0° a 90° a partir del horizonte hacia el zenith, si el astro está sobre el horizonte, y hacia el nadir si está debajo: en el primer caso se afectan con el signo +, y en el segundo con el—.

Suele emplearse con mucha frecuencia en vez de la altura la *distancia zenithal* del astro: es la distancia zenithal

el ángulo que forman el rayo visual, arriba mencionado, y la línea vertical; se mide en el vertical del astro y es el complemento de su altura. Así $E'TZ$ es la distancia zenital del astro E' , ATZ la del astro A .

Basta lo dicho para comprender que la posición de un astro E' sobre la esfera celeste está perfectamente determinada en un momento dado, si se conocen para este momento su azimut Se y su altura eE' , ó su distancia zenital $E'Z$. El azimut y la altura, ó bien el azimut y la distancia zenital de un astro son las *coordenadas horizontales* de este astro; *polares*, si se consideran los ángulos y el radio vector; *esféricas*, si se consideran los arcos de círculo máximo.

78. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL AZIMUT Y LA ALTURA DE UN ASTRO: THEODOLITO. —

Los azimuts, las alturas y las distancias zenithales de los astros se miden por medio del theodolito. Consta esencialmente este instrumento (*Fig. 59*) de un eje vertical EE' que pasa por el centro de un círculo horizontal CC' , graduado de 0° á 360° , ó de 0° á 90° á uno y otro lado. Unido invariablemente con el eje, hay otro círculo vertical DD' graduado de 0° á 180° á uno y otro lado de D hasta D' , y que lleva fijo en su centro un anteojo astronómico AA' . Este anteojo, cuyo eje óptico es paralelo al círculo DD' , puede girar hacia D ó D' , pero sin salir del plano paralelo al círculo DD' . Por último i i' son dos índices que sirven para marcar los grados del círculo horizontal.

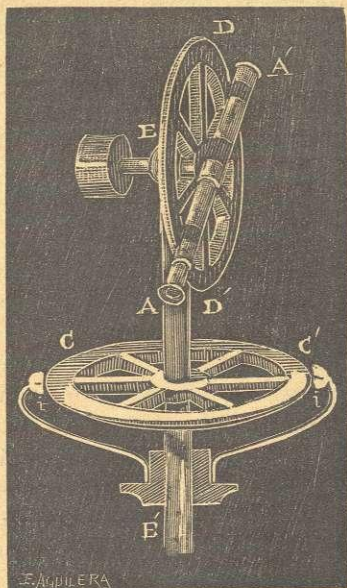


FIG. 59. THEODOLITO.

Para hacerse cargo de cómo se realiza la operación, supóngase; 1.º que al girar sobre sí mismo el eje EE' , giran

con él los dos círculos DD' y CC'; 2.º que la línea 0° - 180° del círculo horizontal CC' representa la intersección del plano del círculo vertical DD' sobre el horizontal, y 3.º que las varillas metálicas de los índices i i' son fijas. Esto supuesto, hágase girar el instrumento hasta que el O del círculo horizontal esté marcado por el índice i; el grado 180 lo marcará el i'. Sin variar la posición del instrumento, hágase que la línea 0° - 180° del círculo horizontal coincida con la meridiana del lugar: es evidente que el índice i representa el punto S. y el i' el N.

Así dispuesto el instrumento, solo queda hacerlo girar de nuevo hasta que el círculo DD' coincida con el vertical del astro, lo que se obtiene tan pronto como el anteojo AA' tenga el astro dentro de su campo y en el cruzamiento de los hilos de su retículo. El grado del círculo horizontal que en esta posición marca el índice i dá el azimut y el ángulo que el eje óptico del anteojo forma con la línea 0° - 180° del círculo DD' dá la altura y la distancia zenithal del astro.

79. CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE LA REFRACCIÓN EN LAS OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS.—Nos encontramos ya en condiciones para comprender bien los efectos que produce la refracción en las observaciones astronómicas.

Decíamos en el núm. 10 que el efecto general de la refracción astronómica era elevar un poco más el astro en el plano vertical que lo contiene, pero sin salir de él.

Aplicando ahora las nociones dadas en este artículo es evidente que la refracción astronómica no influye nada en los azimuts de los astros; y que modifica la altura y la distancia zenithal, aumentando la primera y disminuyendo la segunda en una cantidad igual á la desviación que experimenta el rayo luminoso, al atravesar la atmósfera de la Tierra. Para corregir el efecto de la refracción en las observaciones referentes á las alturas y á las distancias zenithales de los astros es necesario conocer la ley en virtud de la cual aumenta la refracción desde que el astro ocupa el zenith, en cuyo caso es nula, hasta que se encuentra en el horizonte,

donde es máxima. Puede decirse que para distancias zenithales menores de 75° el valor de la refracción es sensiblemente igual á la tangente trigonométrica de la distancia zenithal observada, multiplicada por un número fijo que se llama *constante de la refracción* y que vale unos 60''64 de arco.

En efecto; sea Z (Fig. 60) el zenith, Rx la dirección primitiva del rayo luminoso, y xR' el mismo rayo después de refractado.

La fórmula general de la refracción dá

$$\frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r} = n$$

en la que n es el índice de refracción del aire, que vale 1'000294: la fórmula anterior se puede pues convertir en esta otra,

$$\frac{\text{sen. } ZxR}{\text{sen. } R'xN} = 1'000294$$

de donde

$$\frac{\text{sen. } (Zxr' + r'xR)}{\text{sen. } Zxr'} = 1'000294$$

y como el seno de las sumas de dos ángulos es igual á la suma de los productos del seno de cada uno por el coseno del otro; sustituyendo y multiplicando por sen. Zxr' los dos miembros de la igualdad anterior tendremos

$$\text{sen. } Zxr' \cos. r'xR + \text{sen. } r'xR \cos. Zxr' = 1'000294 \text{ sen. } Zxr'.$$

Ahora bien; como la refracción ó sea el ángulo r'xR es muy pequeño, cuando la distancia zenithal aparente es inferior á 75°, el seno del ángulo r'xR se puede considerar sin error sensible igual á sen. 1'' y cos. r'xR = R; luego

$$\text{sen. } Zxr'R + \cos. Zxr' \text{ sen. } 1'' = 1'000294 \text{ sen. } Zxr'$$

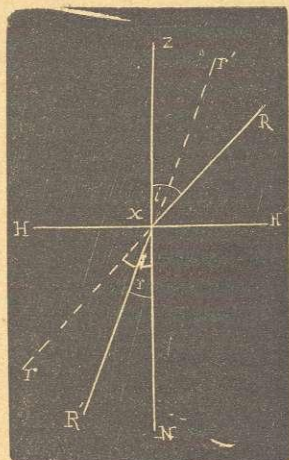


FIG. 60.
CORRECCIÓN DE LA REFRACCIÓN.

de donde, pasando sen. Zxr' al segundo miembro y despejando á R

$$R = \frac{1'000294 \times \text{sen. } Zxr' - \text{sen. } Zxr'}{\text{cos. } Zxr' \text{ sen. } 1''}$$

y sacando sen. Zxr' de factor común

$$R = \frac{(1'000294 - 1) \text{sen. } Zxr'}{\text{cos. } Zxr' \text{ sen. } 1''}$$

mas como $\frac{\text{sen. } Zxr'}{\text{cos. } Zxr'} = \text{tang. } Zxr'$; sustituyendo y efectuando la resta

$$R = \frac{0'000294}{\text{sen. } 1''} \text{tang. } Zxr'$$

y por último efectuando la división

$$R = 60''6418 \text{ tang. } Zxr' \quad (1).$$

Los Astrónomos han construido tablas, que dan resuelta la operación y que indican la cantidad que ha de sustraerse de la altura aparente observada, para obtener la verdadera altura del astro sobre el horizonte. A continuación damos un extracto de la publicada por *Le Bureau des Longitudes* (Paris) en su *Anuario* del corriente año: se supone una presión de 0^m76 y una temperatura de 10^0 centígrados.

Altura aparente	Refracción	Altura aparente	Refracción	Altura aparente	Refracción
0°	33' 47'' 9	9°	5' 53'' 7	50°	0' 48'' 9
1	24' 22'' 3	10	5' 20'' 0	55	0' 40'' 8
2	18' 23'' 1	15	3' 34'' 5	60	0' 33'' 7
3	14' 28'' 7	20	2' 38'' 9	65	0' 27'' 2
4	11' 48'' 8	25	2' 4'' 4	70	0' 21'' 2
5	9' 54'' 8	30	1' 40'' 7	75	0' 15'' 6
6	8' 30'' 3	35	1' 23'' 1	80	0' 10'' 3
7	7' 25'' 6	40	1' 9'' 4	85	0' 5'' 1
8	6' 34'' 7	45	0' 58'' 3	90	0' 0'' 0

(1) Para encontrar el valor de sen. $1''$ hemos hecho el radio igual á la unidad y adoptado para π el valor $3'14159265$: así hemos obtenido para el arco de $1''$ el valor de $0'000004848136$, que hemos considerado como igual á su seno.

Basta inspeccionar el cuadro anterior, para comprender que los astros no deben observarse, cuando forman con el horizonte un ángulo menor de 15° , ó lo que es igual, cuando su distancia zenital es mayor de 75° .

Advirtamos que cuando se trata de astros que tienen un disco circular sus coordenadas son las de su centro: se obtienen por medio de la semisuma de las coordenadas de sus extremos.

ARTICULO IV.

2º. SISTEMA.—COORDENADAS ECUATORIALES.

80. TEORÍA DE LAS COORDENADAS ECUATORIALES.—Se llaman en general *círculos de declinación* y también *máximos de ascensión* unos círculos máximos que pasan por los polos del mundo: sus planos contienen el eje del mundo y son perpendiculares al plano ecuatorial. *Máximo de ascensión* de un astro es el máximo de ascensión, que pasa por el centro de este astro. *Primer máximo de ascensión* es el que pasa por el punto de Aries ó punto vernal.

Paralelos de declinación son los círculos menores de la esfera celeste que pasan por el centro de los astros y que son paralelos al ecuador.

Esto supuesto, veamos cómo se determina la posición de un astro en la esfera celeste por sus *coordenadas ecuatoriales*.

Sea T (Fig. 61) la posición del observador en la Tierra; EE' el ecuador; PP' el eje del mundo; P_xP' el primer máximo de ascensión; A el astro, y PAP' su máximo de ascensión: x representa el punto de Aries.

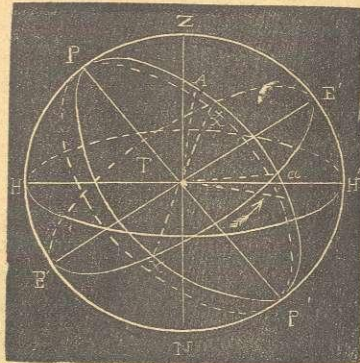


FIG. 61.

COORDENADAS ECUATORIALES.

Se llama *ascensión recta* de un astro el ángulo diedro que forman su máximo de ascensión y el primer máximo.

Así, $APP'x$ es la ascensión recta del astro A. La medida de este diedro es el ángulo plano aTx y la de este el arco del ecuador ax ; por esta razón se define también la ascensión recta de un astro, el arco del ecuador contado desde el punto de Aries hasta su máximo de ascensión.

La ascensión recta de un astro se cuenta de 0° á 360° , á partir del punto de Aries y de Occidente á Oriente, ó sea en sentido contrario al del movimiento aparente de las estrellas. Se indica abreviadamente R .

Se llama *declinación* de un astro el ángulo que forman el rayo visual que va del ojo del observador al astro y su proyección sobre el plano ecuatorial. Así, ATu es la declinación del astro A. Su medida es el arco Aa ; por esta razón se define también la declinación, la distancia que hay de un astro al ecuador, medida en su máximo de ascensión.

La declinación de un astro se cuenta de 0° á 90° , á partir del ecuador y en dirección á los polos. Si el astro se encuentra en el hemisferio del Norte, la declinación es *Norte* ó *boreal* y *Sud* ó *austral*, si está en el del Sud. Se indica abreviadamente *decl.ⁿ N.* ó *S.* En el cálculo las primeras se afectan con el signo $+$ y las segundas con el $-$.

Suele emplearse en vez de la declinación la *distancia polar*: es la *distancia polar de un astro*, el ángulo que forman el rayo visual, arriba mencionado, y el eje del mundo. Así, ATP es la distancia polar del astro A; su medida es el arco AP ; es pues el complemento de la declinación.

Es evidente, y por tanto no insistimos más en esto, que la posición de un astro A está determinada por su ascensión recta ax , y por su declinación aA , ó su distancia polar AP , puesto que la primera dá el máximo de ascensión y cualquiera de las segundas el punto de este máximo en que se encuentra el astro. La ascensión recta y la declinación, ó bien la ascensión recta y la distancia polar de un astro dado son las *coordenadas ecuatoriales* de este astro.

81. EXPRESIÓN DE LAS ASCENSIONES RECTAS EN TIEMPO.

—Es muy frecuente expresar las ascensiones rectas en horas, minutos y segundos de tiempo, con preferencia á los gra-

dos, minutos y segundos de arco. Las horas, minutos y segundos de tiempo se expresan con su letra inicial, colocada á la derecha y en la parte superior del número. Así, $20^h 15^m 30^s$ se leen 20 horas, 15 minutos, 30 segundos.

Para comprender con facilidad como se expresan en tiempo las ascensiones rectas, obsérvese que si 360° que contiene el ecuador, se dividen por 24^h , dan 15° de cociente; luego á cada hora, ó 60^m , corresponden 15° . Reduciendo los 15° á minutos de arco dan $900'$, que divididos por 60^m dan $15'$; luego á cada minuto de tiempo, ó 60^s , corresponden $15'$. Repitiendo la última operación se obtienen para cada segundo de tiempo $15''$.

Tenemos pues las tres igualdades ó equivalencias siguientes:

$$1^h = 15^\circ$$

$$1^m = 15'$$

$$1^s = 15''$$

La operación de convertir grados, minutos y segundos de arco en horas, minutos y segundos de tiempo, y vice-versa, se reduce pues á una división ó multiplicación de complejos. Así:

1.º *Expresar en tiempo un arco de $20^\circ, 15', 45''$.*

Diré: si $15^\circ = 1^h$, $20^\circ = 1^h, + 5^\circ$; reducidos estos 5° sobrantes á minutos y sumados con los $15'$ dan $345'$.

Si $15' = 1^m$, $345' = 345 : 15 = 23^m$ sin resto.

Si $15'' = 1^s$, $45'' = 45 : 15 = 3^s$ sin resto.

Luego $20^\circ, 15', 45'' = 1^h, 23^m, 3^s$.

2.º *Expresar en arco $10^h, 24^m, 30^s$.*

Diré:

Si $1^h = 15^\circ$, $10^h = 10 \times 15 = 150^\circ$

Si $1^m = 15'$, $24^m = 24 \times 15 = 360'$

Si $1^s = 15''$, $30^s = 30 \times 15 = 450''$

Luego $10^h, 24^m, 30^s = 150^\circ 360' 450'' = 156^\circ, 7', 3''$.

82 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LAS COORDENADAS ECUATORIALES: ANTEOJO MERIDIANO: CÍRCULO MURAL.—A) *Medida de las ascensiones rectas.*—Con las nociones anteriores se comprende bien que la medida de la ascensión recta de un astro se reduce á observar la hora en que pasa dicho astro por el meridiano superior. En efecto; supóngase que se tiene un reloj que marca 0^h , 0^m , 0^s , al pasar el punto de Aries por el meridiano superior; es claro que cuando pase después un astro cualquiera por el mismo meridiano el reloj marcará un tiempo determinado: este tiempo es la ascensión recta del astro, la cual puede desde luego expresarse en tiempo, ó reducirse á arco. El reloj empleado ha de marcar 24 horas justas entre

dos pasos consecutivos de Aries por dicho meridiano superior.

El instrumento que se emplea para observar el momento en que pasa un astro por el meridiano es el *anteojo meridiano*, que atendido su objeto, suele también llamarse *instrumento de pasos*. Consta esencialmente de un anteojo astronómico AA' (Fig. 62), móvil alrededor de un eje EE' perfectamente horizontal y perpendicular al eje óptico

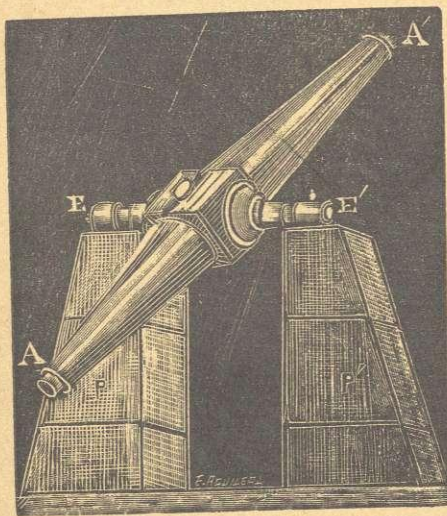


FIG. 62.— ANTEOJO MERIDIANO.

del anteojo. El eje horizontal descansa por sus extremos sobre dos soportes de mampostería P, P', sólidamente contruidos. El anteojo se ha montado de tal manera que al girar alrededor del eje horizontal, su eje óptico describa el plano meridiano.

Con un instrumento así dispuesto se puede observar perfectamente el paso de un astro por el meridiano. No hay mas que hacerlo girar hacia el zenith, ó hacia el horizonte, se-

gún sea la posición del astro. Como el eje óptico del anteojo es el que describe el plano meridiano, el astro estará dentro del campo del anteojo un poco antes de pasar y un poco después de haber pasado por el plano meridiano. Para notar el momento preciso del paso, se emplea el retículo.

Decíamos en el núm. 29 que el retículo más sencillo es el que se compone de dos hilos muy finos, que se cruzan en ángulo recto. Estos hilos han de ser lo más fino posible, para evitar que una estrella de muy poco brillo pueda ocultarse detrás de uno de ellos. Cuando el retículo tiene la forma dicha, el momento en que el astro coincida con el hilo vertical, bien en el punto en que se cruza con el horizontal, bien en otro punto cualquiera, dá su paso por el meridiano. Los Astrónomos han buscado y obtenido más exactitud en esta delicada operación, modificando la forma del retículo, como indica la figura 63. Consiste como se vé en la figura en

colocar simétricamente varios hilos verticales $bb, cc, b'b', c'c'$, perfectamente paralelos al aa' , y todos perpendiculares á los dos horizontales $xx, x'x'$: estos son á su vez simétricos y paralelos al zz , cuyo cruzamiento con el aa' representa la dirección del eje óptico del anteojo. El hilo horizontal zz , indicado por puntos, se suprime después de colocados los demás. Con esta disposición se procura mantener el astro entre los dos hilos horizontales y notar el momento en que pasa por el hilo vertical aa' . La mayor exactitud se obtiene, y á esto principalmente se ordena la modificación del retículo, notando los dos pasos del astro por dos hilos verticales simétricos, como bb y $b'b'$, y tomando la semisuma de los valores correspondientes á los dos pasos.

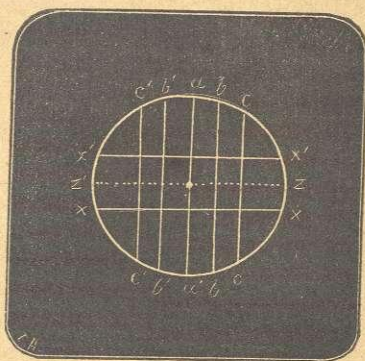


FIG. 63.—RETÍCULO.

entre los dos hilos horizontales y notar el momento en que pasa por el hilo vertical aa' . La mayor exactitud se obtiene, y á esto principalmente se ordena la modificación del retículo, notando los dos pasos del astro por dos hilos verticales simétricos, como bb y $b'b'$, y tomando la semisuma de los valores correspondientes á los dos pasos.

B) *Medida de las declinaciones.*—La medida de la declinación de un astro se obtiene por medio del *círculo mural*.

Consta este instrumento, reducido á sus elementos esenciales, de un círculo vertical C (*Fig. 64*); de un anteojo astronómico AA', y de un índice i. El círculo se ha fijado solidamente á un muro M en el plano meridiano, y con tal disposición que pueda girar sin salir del meridiano, alrededor del eje de suspensión: tiene su limbo graduado de 0° á 360°. El anteojo está invariablemente unido al círculo á lo largo de uno de sus diámetros; gira por consiguiente con él alrededor del eje de suspensión y en el plano meridiano, puesto que su eje óptico es paralelo al círculo. El índice sirve para marcar los

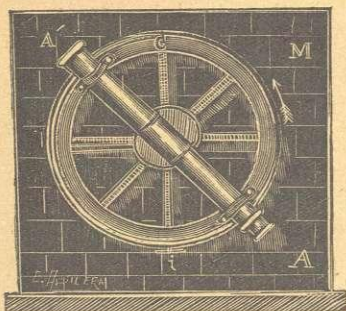


FIG. 64. — CÍRCULO MURAL.

grados, minutos y segundos, cuando el círculo gira.

Sabemos ya que la declinación de un astro y su distancia polar son cantidades complementarias; por tanto, medida una cualquiera de estas dos cantidades, la otra se deduce inmediatamente. Con el círculo mural se mide la distancia polar y de esta se deduce la declinación del astro.

Para comprender cómo se mide la distancia polar de un astro, supóngase: 1.º, que el limbo está graduado en la dirección de la flecha y que el O de la graduación coincide con el índice; 2.º, que el anteojo en la posición natural del instrumento tiene su objetivo dirigido hacia el Sud. Esto supuesto, hágase girar el círculo hácia el N., hasta que el eje óptico del anteojo coincida con el eje del mundo: es evidente que habrá pasado por el índice un número determinado de grados, minutos y segundos del limbo graduado. Sea A este número. Colocado de nuevo el instrumento en su posición natural, es fácil concebir que al observar con el anteojo el paso de un astro por el meridiano superior pueden darse tres casos: 1.º, que el astro pase por el meridiano en la prolongación del eje óptico del anteojo; 2.º, que pase entre el punto anterior y el polo; 3.º, que pase entre el punto mencionado y el horizonte por la parte del Sud.

En el primer caso la distancia polar del astro, distancia

que llamaremos D , es igual á A . En el segundo habrá necesidad de mover el anteojo hacia el N., para ver el astro: el índice marcará el número de grados, minutos y segundos del limbo, que pasen por él. Sea este número A' . La distancia polar del astro en este caso la dá la fórmula $D = A - A'$. En el tercer caso el anteojo habrá de girar hacia el Sud: el índice marcará también los grados, minutos y segundos de este movimiento, que es opuesto al anterior. La distancia polar será pues $D = A + A'$.

Conocida la distancia polar de un astro, no hay más que restarla de 90° para tener su declinación. Cuando el valor numérico de esta distancia sea inferior á 90° , la declinación es positiva: el astro está pues en el hemisferio boreal. Cuando dicho valor sea superior á 90° , la declinación será negativa: el astro estará en el hemisferio austral.

83. LOS PLANOS Y CÍRCULOS DE DECLINACIÓN TOMAN TAMBIÉN EL NOMBRE DE PLANOS Y CÍRCULOS HORARIOS: RAZÓN DE ESTA DENOMINACIÓN.—A consecuencia del movimiento de los astros (núm. 1) el plano y el círculo de declinación de un astro giran de un modo uniforme alrededor del eje del mundo. Es pues evidente que sus diferentes posiciones con relación al plano y al círculo meridiano dependen del tiempo; por tanto, el movimiento del plano y del círculo de declinación se puede emplear para medir el tiempo transcurrido entre dos posiciones distintas, esto es, para determinar la hora; por esta razón se les llama *plano* y *círculo horario*.

84. NUEVO SISTEMA DE COORDENADAS ECUATORIALES.— Los círculos horarios de los astros pueden relacionarse con el meridiano, como queda dicho en el número anterior; esto nos suministra los datos para un nuevo sistema de coordenadas, que son también ecuatoriales, porque su plano fundamental es el ecuador y su eje la línea de los polos ó eje del mundo. No es pues este sistema sino una variación del que dejamos expuesto en este artículo.

Esto supuesto, veamos cómo se determina por él la posición de un astro en la esfera celeste.

Se llama *ángulo horario*, ó simplemente *horario* de un astro, el ángulo diedro formado por el plano horario de este astro y el plano meridiano: su medida es el arco del ecuador comprendido entre el círculo meridiano y el círculo horario del astro. Se cuenta de 0° á 360° á partir del meridiano y en el sentido del movimiento aparente de los astros.

Declinacion de un astro es el ángulo que forman el rayo visual que vá del ojo del observador al astro y su proyección sobre el plano ecuatorial: su medida es el arco del círculo horario, comprendido entre el ecuador y el astro. Se cuenta como la declinación del sistema anterior.

Como facilmente se nota, la posición de un astro sobre la esfera celeste está perfectamente determinada en este sistema, puesto que su horario nos dá el círculo máximo y su declinación el punto de este círculo en que se encuentra dicho astro.

Para medir estas coordenadas se emplea el ecuatorial, que describiremos más adelante, al estudiar las leyes del movimiento diurno de los astros.

ARTICULO V.

3.^{er} SISTEMA.—COORDENADAS ECLÍPTICAS.

85. TEORÍA DE LAS COORDENADAS ECLÍPTICAS. — Se llaman en general *máximos de longitud* y también *círculos de latitud* unos círculos máximos de la esfera celeste que pasan por los polos de la eclíptica y cuyos planos contienen el diámetro que une los mencionados polos. *Máximo de longitud de un astro* es el máximo de longitud que pasa por el centro de este astro. *Primer máximo de longitud* es el que pasa por el punto de Aries.

Se llaman *paralelos de latitud* los círculos mínimos de la esfera celeste, que pasan por los centros de los astros y son paralelos á la eclíptica.

Esto supuesto, veamos cómo se determina la posición de un astro sobre la esfera celeste por sus *coordenadas eclípticas*.

Sea T (*Fig. 65*) la posición de un observador sobre la Tierra; A un astro; EE' el Ecuador; E_1E_2 la eclíptica; PP' el eje del mundo; P_1P_2 el diámetro de la esfera celeste perpen-

dicular á la eclíptica y cuyos puntos P_1, P_2 son los polos de este círculo.

Se llama *longitud de un astro* el ángulo diedro formado por el máximo de longitud de este astro y el primer máximo de longitud. Así, si $P_1 A a P_2$ es el máximo de longitud del astro A y $P_1 x P_2$ el primer máximo, el diedro $AP_1 P_2 x$ es la longitud del astro A . La medida de este diedro es el ángulo plano $a T x$, y la de este el arco ax . Por esta razón se define también la longitud de un astro, el arco de la eclíptica comprendido entre su máximo de longitud y el primer máximo.

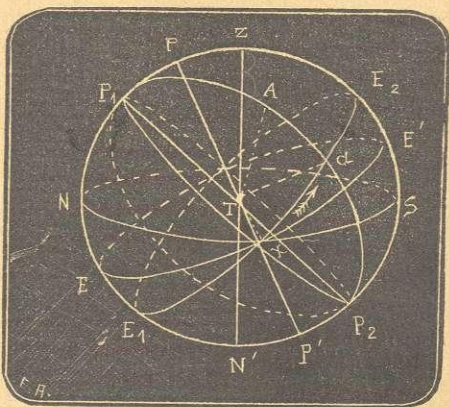


FIG. 65. — COORDENADAS ECLIPTICAS.

La longitud se cuenta de 0° á 360° á partir del punto de *Aries* y de Occidente á Oriente, ó sea en la dirección de la flecha.

Dos astros están en *conjunción*, cuando su diferencia de longitud es nula; en *cuadratura*, cuando difieren 90° ó 270° ; y en *oposición*, cuando su diferencia es de 180° .

Se llama *latitud* de un astro el ángulo que forman el rayo visual que vá del ojo del observador al astro y su proyección sobre el plano de la eclíptica. Así, el ángulo ATa es la latitud del astro A . La medida de este ángulo es el arco Aa ; por esta razón se define también la latitud, la distancia de un astro á la eclíptica medida en su máximo de longitud.

La latitud se cuenta de 0° á 90° á partir de la eclíptica y hacia uno de sus polos. Se llama *boreal* ó *austral* según que se cuenta hacia el polo boreal ó hacia el austral; las primeras entran en el cálculo con el signo $+$, las segundas con el $-$.

Se emplea con frecuencia en vez de la latitud la *colatitud*. Es la *colatitud de un astro* el ángulo que forman el ra-

yo visual arriba mencionado y el eje de la eclíptica. Así, el ángulo ATP_1 es la colatitud del astro A: la colatitud es pues el complemento de la latitud.

Es por tanto evidente que la longitud αx y la latitud αA , ó su complemento la colatitud AP_1 , determinan la posición del astro A sobre la esfera celeste, puesto que la primera nos dá el máximo de longitud, y cualquiera de las segundas el punto de este máximo en que se encuentra el astro. La longitud y la latitud, ó bien la longitud y la colatitud son las *coordenadas eclípticas* de un astro.

No deben confundirse las longitudes y latitudes celestes, de que hablamos, con las longitudes y latitudes geográficas: las primeras sirven, como se ha dicho, para marcar la posición de un astro sobre la esfera celeste; las segundas para marcar la de un lugar sobre nuestro globo, como se verá más adelante.

También ha de tenerse muy en cuenta que las longitudes y latitudes celestes pueden ser *geocéntricas* y *heliocéntricas*: las primeras se cuentan desde la Tierra; las segundas desde el Sol: se emplean aquellas para las observaciones explicadas; éstas para marcar el lugar que ocupa un planeta en su órbita.

86. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LAS COORDENADAS ECLÍPTICAS.—

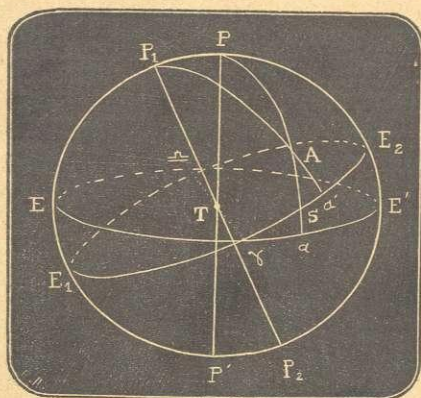


FIG. 66.
MEDIDA DE LAS COORDS. ECLÍPTICAS,

Las longitudes y latitudes celestes no pueden medirse directamente con un instrumento, como las coordenadas horizontales y ecuatoriales; pero su valor se deduce fácilmente, conocidas que sean la ascensión recta y la declinación del astro, cuya longitud y latitud se desean conocer.

En efecto; sea T (*Fig. 66*) la posición de un observador sobre la Tierra; EE' el ecuador; PP' el eje del mundo; E_1E_2 la eclíptica; P_1P_2 el eje

de la eclíptica; γ *Libra* la línea de los equinoccios; EP_1PE_2E' el coluro de los solsticios, y A un astro, cuyo máximo de ascensión es $PA\alpha$ y cuyo máximo de longitud es $P_1A\alpha'$.

Nótase, inspeccionando la figura, que $\gamma\alpha$ es la ascensión recta del astro A ; $A\alpha$ su declinación; $\gamma\alpha'$ su longitud, y $A\alpha'$ su latitud.

Para obtener la longitud $\gamma\alpha'$ y la latitud $A\alpha'$ se pueden emplear dos procedimientos:

1.º *Procedimiento gráfico.*—Consiste en trazar sobre un globo de cartón (*Fig. 67*), preparado al efecto, dos círculos máximos EE' y E_1E_2 con sus ejes perpendiculares PP' y P_1P_2 , cuidando de que formen entre sí un ángulo igual á la oblicuidad de la eclíptica, ó sea de $23^\circ 27' 8'' 029$. Estos dos círculos representan el ecuador y la eclíptica con sus respectivos ejes. Marcado el punto vernal γ , se toma sobre EE' y en la dirección de la flecha, un arco $\gamma\alpha$, igual á la ascensión recta del astro A . Por P y por α se traza un arco de círculo máximo perpendicular á EE' : el arco $P\alpha$ es el máximo de ascensión del astro A ; se puede pues, partiendo de α hacia P tomar en este arco una magnitud αA igual á la declinación del astro A . El punto A , así obtenido, representa sobre el globo la posición que tiene el astro en la esfera celeste.

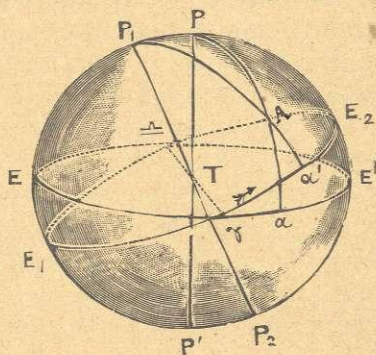


FIG. 67.

MEDIDA DE LAS COORDS. ECLÍPTICAS.

Hecho lo anterior, no hay más que trazar otro arco de círculo máximo que pase por P_1 y por A , y que sea perpendicular á la eclíptica E_1E_2 , para obtener la longitud y la latitud del astro A . En efecto; el arco de círculo máximo $P_1A\alpha'$ es el máximo de longitud del astro A ; por consiguiente el arco de la eclíptica $\gamma\alpha'$ es la longitud, y el arco del máximo de longitud $\alpha'A$ la latitud del astro A .

2.^o *Procedimiento trigonométrico.*—Fijémosnos nuevamente en la figura 66. Obsérvase en esta figura que los máximos de ascensión y de longitud del astro A forman con el coluro de los solsticios un triángulo esférico, PP_1A (1). En este triángulo hay tres elementos conocidos; por consiguiente se pueden deducir los valores de los otros tres por las fórmulas generales de la Trigonometría esférica. La resolución de este triángulo es mucho más sencilla y dá el conocimiento de la longitud y de la latitud del astro A con más exactitud que el procedimiento anterior.

Los elementos conocidos en el triángulo PP_1A son: 1.^o, el lado PP_1 = oblicuidad de la eclíptica = $23^{\circ}, 27', 8'', 029$; 2.^o, el lado $PA = 90^{\circ} - \text{decl.}^n A$; 3.^o el ángulo $P_1PA = EP\alpha = 90^{\circ} + AR A$. Ahora bien; el ángulo $PP_1A = E_1P_1\alpha' = 90^{\circ} - \gamma\alpha' = 90^{\circ} - \text{longitud } A$, y el lado $PA = 90^{\circ} - A\alpha' = 90^{\circ} - \text{lat. } A$. Es pues evidente que resolviendo el triángulo PP_1A se obtienen la longitud y la latitud del astro A (2).

Por lo dicho anteriormente se comprende que también se pueden obtener la ascensión recta y la declinación de un astro, cuando se conocen la longitud y la latitud de dicho astro.

Cuando se trata del Sol, la operación se simplifica notablemente. La latitud de este astro es siempre nula, puesto que la órbita que recorre aparentemente en un año alrede-

(1) Este triángulo existe siempre en la esfera celeste, excepción hecha del caso en que el astro A se encuentre sobre el coluro de los solsticios.

(2) Las fórmulas para resolverlo las suministra, como decimos arriba, la Trigonometría esférica. Nos atrevemos sin embargo á recomendar aquí, ya que no nos detengamos en darlas, las fórmulas que el señor Vázquez Queipo tiene en las tablas 25 y 26 de sus «*Tablas de Logaritmos*» por la facilidad con que se puede emplear el cálculo logarítmico, con lo que se abrevian las operaciones, y además porque están perfectamente clasificadas para los distintos casos que pueden ocurrir. Las tablas 23 y 24 de la misma obra contienen las fórmulas para resolver toda clase de triángulos rectilíneos.

dor de la Tierra es la eclíptica. Así, si en la figura 66 suponemos que el Sol está en S, y se nos dán como datos su ascensión recta γa y su declinación aS , no tendremos que buscar más que su longitud γS . Como su máximo de ascensión PSa es perpendicular al ecuador, el ángulo esférico $S\gamma a$ es recto y por tanto el triángulo esférico $S\gamma a$ es rectángulo: su hipotenusa es γS , ó sea la longitud. Se puede pues emplear para encontrar el valor de esta hipotenusa la primera fórmula del caso 3.º de la tabla 25 del Sr. Vázquez Queipo, á saber: $\cos. a = \cos. b \cos. c$; ó $\log. \cos. a = \log. \cos. b + \log. \cos. c$; fórmulas, que aplicaríamos al caso presente, diciendo:

$$\cos. \gamma S = \cos. \gamma a \cos. aS$$

ó

$$\log. \cos. \gamma S = \log. \cos. \gamma a + \log. \cos. aS.$$

Como se ve, no hay más que sustituir en las fórmulas los lados γa y aS por sus valores y efectuar las operaciones indicadas, para obtener la longitud del Sol en un momento dado. Conocida la longitud y la oblicuidad de la eclíptica se pueden obtener la ascensión recta y la declinación por la resolución del mismo triángulo esférico rectángulo.

Quédanos únicamente indicar las variaciones que pueden tener los valores de los ángulos P_1PA y PP_1A en el triángulo esférico PAP_1 (*Fig. 66*), para que siempre sea fácil su resolución. Obsérvese que la AR del astro A puede ser $\angle 90^\circ$, $\angle 90^\circ$ y $\angle 270^\circ$, y por último $\angle 270^\circ$ y $\angle 360^\circ$. En el primer caso el ángulo $P_1PA = 90^\circ + AR$, como decíamos antes; en el 2.º, $P_1PA = 270^\circ - AR$; en el 3.º, $P_1PA = AR - 270^\circ$. Del mismo modo la long. del astro A puede ser $\angle 90^\circ$, $\angle 90^\circ$ y $\angle 270^\circ$, y por último $\angle 270^\circ$ y $\angle 360^\circ$. En el primer caso el ángulo $PP_1A = 90^\circ - \text{long}$; en el 2.º, $PP_1A = \text{long} - 90^\circ$; en el 3.º, $PP_1A = 450^\circ - \text{long}$.

87.—RESUMEN DE LAS COORDENADAS EXPUESTAS.—Con objeto de que se perciban con gran facilidad los elementos de

los sistemas de coordenadas expuestos en este capítulo los sintetizamos en el cuadro siguiente:

Sistemas	Plano fundamental	Ejes	Coordenadas	Complemento de la segunda
Coordenadas horizontales.	Horizonte	Línea vertical	Azimut y Altura.	Distancia zenital.
Coordenadas ecuatoriales.	Ecuador	Línea que une los polos del mundo.	Ascensión recta y Declinación.	Distancia polar.
Coordenadas ecuatoriales.	Ecuador	Línea que une los polos del mundo.	Horario y Declinación.	Distancia polar.
Coordenadas eclípticas.	Eclíptica	Línea que une los polos de la eclíptica.	Longitud y Latitud.	Colatitud.

88 OBSERVACIONES SOBRE LOS SISTEMAS DE COORDENADAS.—1.^a El sistema de coordenadas horizontales es propio para cada lugar, puesto que tiene por eje la línea vertical y por plano fundamental el horizonte, que varían con la posición del observador sobre la Tierra.

2.^a Los dos sistemas de coordenadas ecuatoriales son en un todo semejantes, puesto que tienen ambos por eje la línea de los polos y por plano fundamental el ecuador; ha de tenerse sin embargo mucho cuidado en no confundirlos: el de ascensión recta y declinación es independiente de la posición del observador; el de horario y declinación es móvil con el observador sobre la superficie de la Tierra, puesto que se relaciona con el meridiano del lugar donde se realiza la operación.

3.^a Como el origen de las ascensiones rectas y de las longitudes es el *punto vernal*, se comprende fácilmente que el movimiento de precesión de los equinoccios modifique dichas coordenadas. Así mismo, la disminución secular de la oblicuidad de la eclíptica, modificando la posición del ecuador celeste en relación con la eclíptica, modifica también la declinación de los astros: influyen además, modificando las

mencionadas coordenadas, la nutación del eje de la Tierra, la aberración de la luz, el movimiento propio de las estrellas y la paralaje anua.

4.^a Hemos de advertir por último que por medio de fórmulas se pasa muy bien, transformando las coordenadas, de uno á otro sistema, y que los Astrónomos han construido tablas, para hacer todas las correcciones necesarias.

89. INFLUENCIA DE LA PARALAJE EN LAS OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS: CORRECCIONES.—Las tablas y efemérides astronómicas no pueden dar las posiciones de los astros, como estos se presentan á cada observador, según la posición que ocupa sobre la Tierra. Por esta razón los cálculos que en ellas se emplean se hacen como si el observador estuviese en el centro de la Tierra; por consiguiente, para poder servirse de ellos es indispensable que cada uno haga las correcciones necesarias según el lugar que ocupa. Esta corrección no es otra cosa más que corregir los efectos que produce la paralaje en las observaciones astronómicas.

Para comprender bien estos efectos, supóngase que un observador se encuentra sobre la Tierra en un punto O de su superficie (Fig. 68) y que A es un astro. Dicho observador verá el astro A según la recta OA que forma con la vertical ZO un ángulo ZOA; otro observador que estuviese en T, centro de la Tierra, vería el astro según la recta TA, que forma con la vertical ZT un ángulo ZTA. Para que la observación hecha en O concordase con la hecha en T, sería necesario que el astro A se viese desde O en la dirección OA', paralela á la línea TA, y que forma con la vertical ZO un ángulo ZOA' igual al ZTA.

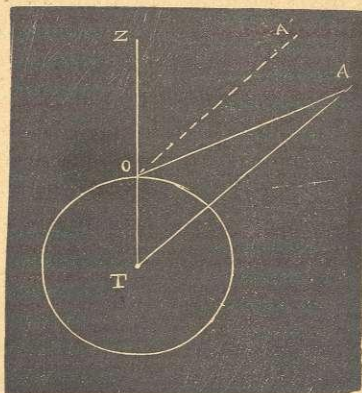


FIG. 68
CORRECCION DE LA PARALAJE

Ahora bien; cuando se observan estrellas, no hay para-

lage diurna (núm. 65); por tanto, las observaciones referentes á dichos astros, pueden suponerse hechas desde el centro de la Tierra, no necesitando más correcciones que las correspondientes á la refracción y que dejamos indicadas en el número 79. Pero no sucede lo mismo, cuando se observan astros del sistema solar, y con especialidad cuando se observan el Sol ó la Luna, y de aquí la necesidad de corregir los efectos de la paralage.

Observando de nuevo la figura 68, se nota que el efecto de la paralage es contrario al de la refracción; esta, como decíamos en los números 10 y 79 eleva el astro, cualquiera que este sea, y cualquiera que sea su distancia á la Tierra, en el plano vertical que lo contiene, pero sin sacarlo de él; la paralage solo obra sobre los astros del sistema solar, haciendo que se vea más bajo de lo que debía verse, para que la observación hecha en la superficie terrestre concordase con la hecha desde el centro de la Tierra. La cantidad que lo baja está dada por el ángulo $A'OA$ que es igual al OAT por alternos internos. Las variaciones que experimenta el ángulo OAT , ó sea la paralage, indicadas en el número 65, las experimenta también el ángulo $A'OA$; portanto, la corrección de la paralage, ó lo que es lo mismo, la reducción al centro de la Tierra de una observación hecha en su superficie se efectúa sumando á la altura observada el valor de la paralage en aquel caso, y restando de la suma obtenida el valor de la refracción.

Los astrónomos han construido tablas que dan el valor de la paralage para distintos grados de altura, y para distintas épocas del año. Como se refieren á astros en particular, las dejamos para cuando estudiemos estos astros.



CAPÍTULO III

DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTRELLAS EN LA ESFERA CELESTE.

Aunque parece á primera vista que este capítulo debería encontrarse en la tercera parte de estas Nociones, dado el plan que nos hemos propuesto, lo colocamos en este lugar, por ser necesario su conocimiento para estudiar los movimientos propios de los astros que constituyen el sistema solar.

ARTICULO I.

NOMENCLATURA ESTELAR.

90. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRELLAS POR MAGNITUDES: SENTIDO DE LA PALABRA MAGNITUD EN ESTE CASO.—La primera clasificación que se hace de las estrellas es por magnitudes. Tal vez crea alguno que, al hacer esta clasificación, la palabra *magnitud* indica las dimensiones reales de las estrellas. Pues bien, no hay nada de esto. Cuando se habla en este caso de magnitudes, tan solo se pretende indicar el brillo ó esplendor con que se presentan las estrellas á nuestra vista. Así se dice que una estrella es de 1.^a magnitud, de 2.^a, de 3.^a

etc., según que dicha estrella sea más ó menos brillante, entendiéndose siempre que aquellas que más brillan son las de 1.^a magnitud, las que siguen en brillo á las anteriores las de 2.^a, y así sucesivamente. No están conformes los Astrónomos en el número total de magnitudes que deben admitirse: la opinión más corriente, admite hasta 16 magnitudes distintas. Seis de éstas son visibles á la simple vista, las diez restantes solo con el auxilio de los telescopios, por lo cual se las llama *telescópicas*.

La diferencia de brillo entre las estrellas de las distintas magnitudes no está perfectamente marcada; antes, por la inversa, hay en el brillo de las estrellas una gradación tan insensible, que es casi imposible distinguir la más débil de una magnitud cualquiera de la más brillante de la magnitud inmediata inferior. Por esta razón los Astrónomos dividen las estrellas de una magnitud cualquiera en partes alícuotas de la misma magnitud. Así, las estrellas de la 4.^a magnitud se expresan 4.^a, 4.^a 1, 4.^a 2, etc., hasta 4.^a 9, si es necesario.

91. APLICACIÓN DE LA FOTOMETRÍA AL ESTUDIO DE LOS ASTROS.—La clasificación hecha en el número anterior es evidentemente artificial. Fundada, como hemos dicho, en el brillo con que se presentan á nuestra vista las estrellas, es claro que está sujeta á innumerables variaciones en relación con la vista del observador. Así no es de extrañar que haya tanta disconformidad entre los Astrónomos acerca de la magnitud en que deban clasificarse algunas estrellas. Para obviar estos inconvenientes y para dar á esta clasificación una base científica los Astrónomos han aplicado la Fotometría al estudio de los astros. Es la *Fotometría*, como se enseña en Física, la parte de la Óptica que estudia las intensidades relativas de las luces: *Fotómetros* los aparatos destinados á realizar esta operación.

Aplicando este procedimiento estudió J. Herschel en 1836 y en el Cabo de Buena Esperanza las intensidades luminosas de varias estrellas del hemisferio austral. Más tarde los Sres. Steinheil y Knobel perfeccionaron los fotómetros

celestes, distinguiéndose por último en este punto Zöllner, quien los adaptó para medir y calcular no solo los grados de intensidad de la luz, sino también sus diversos colores.

En el cuadro, que damos en el número 94 se encuentran los datos, que la fotometría celeste ha suministrado respecto de la magnitud de las principales estrellas.

92. CONSTELACIONES Ó ASTERISMOS.—Se llaman *constelaciones* ó *asterismos* los grupos en que los Astrónomos han distribuido las estrellas, dándoles nombre, para orientarse en la esfera celeste.

Fúndase esta distribución en que las estrellas no se encuentran repartidas de un modo uniforme en la esfera celeste; antes bien, la mayor parte y especialmente las más brillantes están agrupadas irregularmente, como lo prueba una inspección, por ligera y superficial que sea, de la esfera celeste.

Tiene por objeto dicha distribución facilitar la nomenclatura y el conocimiento de las estrellas. Es fácil concebir que cada una de las estrellas podría designarse por un nombre propio, mas, si se tiene en cuenta su extraordinario número, se comprenderá que sería imposible conservar en la memoria la suma tan considerable de nombres, que de tal nomenclatura habría de resultar, haciéndose por tanto imposible el conocimiento de las estrellas y el de todos los fenómenos que tienen por base y fundamento dicho conocimiento.

A pesar de que esta distribución es tan solo una obra de imaginación, resuelve el problema de poder orientarse en la esfera celeste. No debe, pues, admirar su falta de método científico, ni que pueblos pertenecientes á distintas civilizaciones empleen distintos nombres, para designar una misma constelación, ó hayan formado diversas agrupaciones de estrellas, como sucede con los Chinos respecto de los Griegos (1).

(1) Garcet.—*Leçons de Cosmographie*—pág. 33.

Por lo que respecta á la esfera celeste, que nosotros poseemos, ha de tenerse presente que las constelaciones y los nombres que se les dan, proceden de los Griegos, con huellas evidentes del paso de los Arabes por esta clase de estudios. En edad remotísima, no se sabe cuando, se representó la esfera celeste cubierta de figuras de hombres y animales, de tal manera dispuestas, que abrazaran las principales estrellas de cada constelación. Para unos hay nombres tan antiguos, como el género humano; para otros guarda esta distribución cierta relación con la expedición de los Argonautas, por estar varios de sus héroes representados en la esfera celeste; sostienen otros que la mayor parte de los nombres de estas constelaciones parecen indicar que esta representación se hizo en los tiempos heróicos de la Grecia.

Sea el que quiera su origen, lo cierto es que han llegado hasta nosotros los antiguos nombres, sin que tengan la más pequeña importancia astronómica, ni representen los objetos que pretenden significar.

Posteriormente se han introducido en la esfera celeste nuevas constelaciones. Unas son de poca importancia, y otras pertenecen á la parte del cielo austral, que no es visible en nuestras latitudes, y que por tanto no conocieron los Griegos.

A continuación enumeramos las principales constelaciones. Hemos dividido para ello la esfera celeste en tres zonas. Comprende la primera las constelaciones que están constantemente sobre el horizonte de Sevilla. La segunda aquellas que diariamente tienen orto y ocaso. La tercera abraza las que nunca son visibles en esta Ciudad (1). En cada zona las hemos enumerado por orden de ascensión recta creciente. Las zodiacales están subrayadas, y algunas tienen entre paréntesis el nombre del signo del Zodiaco. Ha de tenerse presente que hoy no coinciden las constelaciones y los signos á causa de la precesión de los equinoccios, fenómeno que explicaremos en su lugar oportuno.

(1) Esta división puede aplicarse también á todos los puntos de la Península sin error sensible.

1.^a Zona.—La Osa Menor, Casiopéa, La Girafa, La Osa Mayor, El Dragón y Cefeo: estas constelaciones y las estrellas que las constituyen se llaman *circumpolares*.

2.^a Zona.—*Los Peces* (Piscis), El Escultor, Andrómeda, El Fénix, La Ballena, El Triángulo, *El Carnero* (Aries), Perseo, Las Pleyades ó Cabrillas, El Eridano (1), *El Toro* (Tauro), El Cochero, Orión, La Liebre, La Paloma, El Unicornio, El Perro Mayor, *Los Gemelos* (Géminis), El Perro Menor, Argos ó El Navío (1), El Lince, *El Cangrejo* (Cancer), La Hidra, El León Menor, El Sextante, La Máquina Pneumática, *El León* (Leo), La Copa, El Cuervo, La Cabellera de Berenice, Los Lebreles, *La Virgen* (Virgo), El Centauro (1), El Boyero, *La Balanza* (Libra), El Lobo, La Corona Boreal, La Serpiente, *El Escorpión*, Hércules, Ofiúco ó El Serpentario, La Lira, *El Sagitario*, El Aguila, La Flecha, La Raposa, El Cisne, El Delfín, El Lagarto, El Caballo Menor, *El Capricornio*, El Pez Austral, *Acuario*, La Grulla y Pegaso.

3.^a Zona.—La Hidra Austral, El Reticulo, La Dorada, El Pez volador, El Camaleón, La Cruz del Sud, La Mosca, La Abeja, El Triángulo Austral, El Altar, El Telescopio, El Pavo, El Indio, El Octante y El Tucán.

93. DIVERSOS MÉTODOS PARA DESIGNAR LAS ESTRELLAS DE UNA MISMA CONSTELACIÓN.—La distribución de las estrellas en constelaciones suministra la base para la resolución del problema relativo á su nomenclatura y conocimiento, pero necesita ser complementada con otro procedimiento que indique, cómo han de designarse las estrellas que forman y constituyen una misma constelación, á fin de que puedan distinguirse entre sí. Para obtener este resultado se han empleado tres métodos principales.

1.^o *El método antiguo*.—Consistía en designar las estrellas más brillantes de cada constelación por la parte que ocupaban en la figura que se representaba. Así se decía: *el*

(1) En parte visible y en parte invisible.

ojo del Toro, la cola de la Osa Mayor, el hombro derecho de Orión, etc.

2.º *El método Arabē.*—Consistía en dar nombres especiales á toda estrella brillante, tomándolos á veces de los griegos ó romanos. Así se decía: *Algenib, Sirio, Procyón, Aldebaran, Castor, Pollux, Markab, etc.*

3.º *El método moderno ó de Bayer.*—Consiste sencillamente en designar por letras ó números las estrellas de una misma constelación del modo siguiente: la estrella más brillante se designa por la letra primera del alfabeto griego, ó sea α ; la que sigue en brillo á la anterior por la letra β , y así se continúa, aplicando las letras del alfabeto griego á las estrellas de la constelación, según que disminuyen de brillo; si, concluido el alfabeto griego, hay más estrellas en dicha constelación se emplea el alfabeto latino, y si no basta, números arábigos.

Agregando, pues, el nombre latino ó castellano de la constelación á la letra que representa la estrella, en esta forma α *Scorpii* ó α *del Escorpión*, que es *Antares*; α *Lyrae* ó α *de la Lira*, que es *Wega*; β *Geminorum* ó β *de los Gemelos*, que es *Pollux*, etc., queda perfectamente resuelto el problema de la nomenclatura estelar y del conocimiento y distinción de cada una de las estrellas, que forman una constelación determinada.

Este método fué empleado por Bayer, al publicar sus mapas celestes en 1603, siendo después adoptado por los Astrónomos. Hemos de advertir que en muchas constelaciones no se observa rigurosamente el método, aplicando las letras ó números á medida que decrecen en brillo las estrellas, sino que aplicadas las letras α y β á las dos más brillantes, se continúan poniendo letras y números á las restantes estrellas, cuidando tan solo de que no se repitan. Si alguna letra se repite en una misma constelación, suelen distinguirse entre sí por medio de un numerito que se le pone de exponente.

ARTÍCULO II

PROCEDIMIENTOS PARA ENCONTRAR LAS CONSTELACIONES EN LA ESFERA CELESTE

94. PROCEDIMIENTO CIENTÍFICO.— Hemos dicho en el número 80 que la ascensión recta y la declinación de un astro fijan su posición sobre la esfera celeste; por consiguiente, conocidas estas dos coordenadas, se puede encontrar sobre la esfera celeste el astro á que corresponden. Tal es el procedimiento científico, empleado comunmente, para encontrar las constelaciones y las estrellas que las constituyen.

En el cuadro que damos á continuación, extractado del que publica *El Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando* en su *Almanaque Náutico para 1900*, están indicadas las principales estrellas de la esfera celeste. Dicho cuadro necesita de algunas explicaciones. Comprende cuatro divisiones: nombre de la estrella; magnitud; ascensión recta y declinación.

En la primera hemos marcado con letra de mayor tamaño aquellas estrellas que se consideran por todos los Astrónomos como de 1.^a magnitud, y con un asterisco las invisibles desde Sevilla. En la segunda se “asignan á las estrellas las magnitudes, deducidas por el Prof. Pickering, combinando los resultados de la Uranometría Argentina, de la Uranometría Nova Oxoniensis, de la Harvard Photometry y de las observaciones fométricas de Wolf.” (1). El tipo de las estrellas de primera magnitud es α del Toro, ó sea Aldebaran, la cual se representa por 1, 0. Por tanto el número 0,0 indica una estrella cuya magnitud es una vez mayor, y el número—1,0 otra estrella cuya magnitud es dos veces mayor que la de Aldebaran. Así, la magnitud de Sirio, que se representa por—1,4 indica que la magnitud de α del Perro Mayor es 2,4 mayor que la de α del Toro.

En la tercera están representadas las ascensiones rectas en tiempo.

En la cuarta se indican las declinaciones boreales con el signo + y las australes con el —.

(1) *Almanaque Náutico*, pág. IX.

Nombres de las estrellas.	Mag- nitud.	Ascens. Recta.			Declinación
		h.	m.	s.	
α Andrómeda.	2, 1	0.	3. 12,	9	+28. ^o 32.' 18", 2
α Fénix.	2, 5	0.	21. 20,	5	-42. 50. 56, 5
α Casiopéa.	(var.)	0.	34. 49,	6	+55. 59. 20,
α Osa Menor (<i>Polar</i>),	2, 2	1.	22. 33,	0	+88. 46. 26, 7
α ERIDANO (<i>Achernar</i>). *	0, 4	1.	33. 59,	2	-57. 44. 40, 2
α Carnero.	2, 1	2.	1. 32,	0	+22. 59. 23, 2
α Ballena.	2, 6	2.	57. 3,	0	+ 3. 41. 51,
β Perseo (<i>Algol</i>).	(var.)	3.	1. 39,	5	+40. 34. 14, 2
α Perseo.	1, 9	3.	17. 10,	7	+49. 30. 19, 1
α TORO (<i>Aldebaran</i>)	1, 0	4.	30. 10,	8	+16. 18. 30, 2
α COCHERO (<i>la Cabra</i>).	0, 1	5.	9. 17,	9	+45. 53. 47,
β ORION (<i>Rigel</i>).	0, 3	5.	9. 43,	8	- 8. 19. 1, 1
α ORION (<i>Betelgeuse</i>).	0, 9	5.	49. 45,	4	+ 7. 23. 18, 8
α ARGOS (<i>Cánope</i>). *	-0, 8	6.	21. 43,	8	-52. 38. 27, 6
α PERRO MAYOR (<i>Sirio</i>).	-1, 4	6.	40. 44,	3	-16. 34. 45,
α Gemelos (<i>Castor</i>).	1, 9	7.	28. 13,	2	+32. 6 29, 3
α PERROMENOR (<i>Procyon</i>)	0, 5	7.	34. 4,	0	+ 5. 28. 53, 9
β GEMELOS (<i>Pollux</i>).	1, 2	7.	39. 11,	8	+28. 16. 4, 4
α Hidra.	2, 1	9.	22. 40,	3	- 8. 13. 29, 8
α LEON (<i>Régulo</i>).	1, 3	10.	3. 2,	8	+12. 27. 22, 1
α Osa Mayor.	2, 0	10.	57. 33,	6	+62. 17. 27,
α 'CRUZ. *	0, 9	12.	21. 1,	6	-62. 32. 41, 2
β Cuervo.	2, 8	12.	29. 7,	8	-22. 50. 37, 3
α VIRGEN (<i>la Espiga</i>).	1, 1	13.	19. 55,	3	-10. 38. 21, 6
β CENTAURO. *	0, 7	13.	56. 45,	6	-59. 53. 25, 9
α BOYERO (<i>Arturo</i>).	0, 2	14.	11. 5,	9	+19. 42. 10, 7
α 'CENTAURO. *	0, 2	14.	32. 48,	4	-60. 25. 15, 6
α 'Balanza.	2, 9	14.	45. 20,	6	-15. 37. 34, 8
α Corona Boreal.	2, 3	15.	30. 27,	2	+27. 3. 4, 5
α ESCORPION (<i>Antares</i>).	1, 2	16.	23. 16,	3	-26. 12. 36, 6
α Triángulo Austral *	2, 2	16.	38. 4,	2	-68. 50. 38, 7
α Ofiuco.	2, 2	17.	30. 17,	4	+12. 37. 57, 9
α LIRA (<i>Wega</i>).	0, 2	18.	33. 33,	1	+38. 41. 25, 9
α AGUILA (<i>Altair</i>).	0, 9	19.	45. 54,	2	+ 8. 36. 14, 6
α Pavo. *	2, 1	20.	17. 44,	3	-57. 3. 19, 4

Nombres de las estrellas	Mag- nitud.	Ascens. Recta			Declinación.
		h.	m.	s.	
α CISNE (<i>Deneb</i>).	1, 4	20. 38.	1, 3	+44. ^o 55.' 22," 7	
α Ceféo.	2, 6	21. 16.	11, 5	+62. 9. 42, 6	
α Acuario.	3, 0	22. 0. 38,	8	— 0. 48. 20,	
α Grulla.	1, 9	22. 1. 55,	9	—47. 26. 43, 1	
α PEZ AUSTRAL (<i>Fomalhaut</i>).	1, 3	22. 52.	7, 4	—30. 9. 8, \pm	
α Pegaso (<i>Markab</i>).	2, 5	22. 59. 46,	6	+14. 40. 2,	

95. PROCEDIMIENTO EMPÍRICO: MÉTODO DE LAS ENFILACIONES.— Consiste el método, que puede llamarse *empírico*, para encontrar las constelaciones, en suponer unidas por líneas las principales estrellas que las constituyen, representando una figura determinada. Si por medio de otras líneas unimos una ó varias constelaciones conocidas con otras desconocidas, llegando así al conocimiento de estas últimas, tenemos el llamado *método de las enfilaciones*. Valiéndonos de este método, vamos á indicar el modo de encontrar sobre la esfera celeste las principales constelaciones.

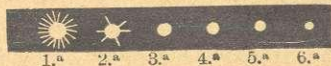


FIG. 69
ESCALA DE LAS MAGNITUDES.

La figura 69 muestra la escala de las magnitudes, que hemos adoptado para representar las estrellas sobre el papel.

Si un observador se encuentra en Sevilla, ó en general en Europa, Asia ó América del Norte, la primera constela-

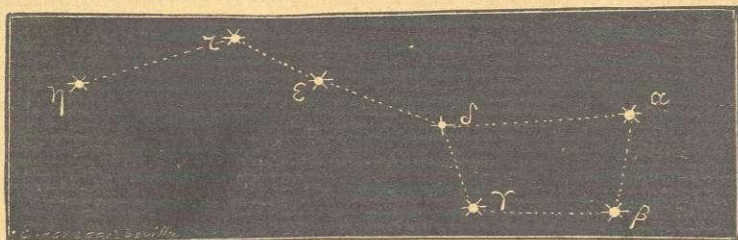


FIG. 70—OSA MAYOR.

ción que ha de buscar es el *Carro* ú *Osa Mayor*, (Fig. 70) fa-

cil de reconocer, porque está constantemente sobre el horizonte y por su forma. Consta de siete estrellas de 2.^a magnitud, excepto δ , que por haber perdido parte de su brillo es hoy de 3.^a. Las cuatro estrellas α , β , γ , δ forman un trapecio, que es el Carro: las tres restantes son la cola de la Osa Mayor: por último α y β suelen llamarse las Guardas.

1.^a enfilación. Uniendo β y α de la Osa Mayor (Fig. 71)

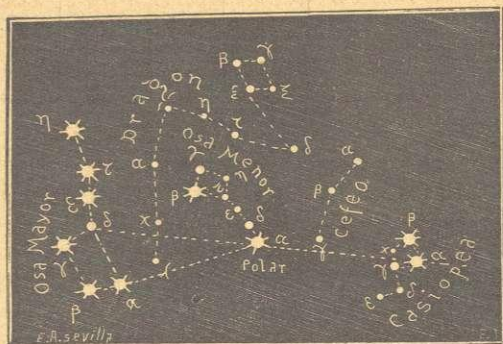


FIG. 71. —PRIMERA ENFILACIÓN (A).

por una línea y prolongándola del lado de α unas cinco veces la distancia que hay entre ellas, se encuentra otra estrella de 2.^a magnitud, que es α de la Osa Menor: esta constelación consta de siete estrellas principales, que afectan la misma forma de la Osa Mayor, pero invertida con relación á ella; α de la Osa Menor es la Estrella Polar: recibe este nombre, porque el polo Norte del mundo se encuentra á 1° 15' de ella sobre la línea que la une con ϵ de la Osa Mayor.

Entre las dos Osas se encuentra el Dragón: el cuadrilátero que forman β , γ , ϵ , ζ , se llama la cabeza del Dragón.

Si la línea que une á δ de la Osa Mayor con la Polar se prolonga hácia el otro lado una cantidad casi igual, vendrá á pasar por Casiopea. Uniendo á las estrellas más notables de esta constelación una pequeñita, \times de la figura, Casiopea toma la forma de una Silla, nombre que también se le dá (1).

(1) No hacemos mención en el texto sino de lo más principal; 1.^o, porque en los números precedentes hemos indicado las estrellas de 1.^a

Entre Casiopéa y la Osa Menor puede verse á Cefeo, como indica la figura.

Si las dos líneas que llegan á la Polar desde δ y α de la Osa Mayor se prolongan al otro lado de la Polar (Fig. 72),

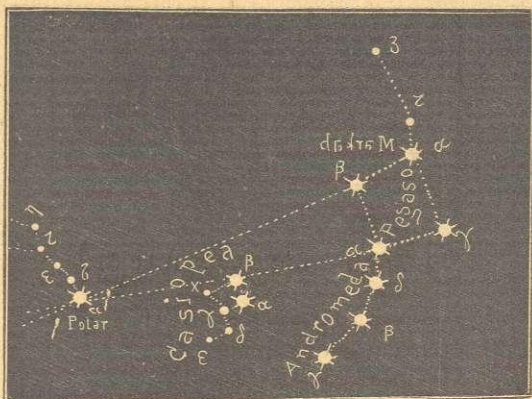


FIG. 72.—PRIMERA ENFILACIÓN (B).

aparte de que una pasará por Casiopéa, comprenderán entre sí un gran cuadrilátero: es *Pegaso*. Como se observa en la figura en este cuadrilátero hay dos α . La de la parte inferior con las tres estrellas que la siguen, formando un arco cóncavo hacia Casiopéa, es *Andrómada*: las demás estrellas forman propiamente la constelación de *Pegaso*.

2.ª enfilación. Conocidas *Pegaso* y *Andrómada*, basta prolongar la línea $\beta\gamma$ de esta última, para encontrar á *Perseo* (Fig. 73): γ , α y δ de esta constelación forman un arco cóncavo hacia la Osa Mayor: prolongando la línea $\epsilon\zeta$ de *Perseo*, se encuentran las *Pléyades* ó *Cabrillas*, grupo de estre-

magnitud, un gran número de las de 2.^a, sus nombres y las constelaciones á que pertenecen; 2.º, porque en las figuras que acompañan á la explicación se indican las magnitudes y las posiciones de las estrellas en cada constelación; 3.º, porque una inspección detenida de las figuras del texto, acompañada de la observación de la esfera celeste, dá á conocer las constelaciones con más facilidad que todas las explicaciones.

llas, de las cuales cinco ó seis son visibles á la simple vista.



FIG. 73.—SEGUNDA ENFILACIÓN.

La prolongación de la línea que une α y γ de Andrómeda con α de Perseo pasa por el Cocheiro, en la cual se encuentra *La Cabra*. Por último, debajo de Andrómeda y como indica la figura pueden verse el *Carnero* (Aries) y la *Ballena* con su estrella o *Mira*, variable.

3.^a enfilación. Volvamos nuevamente á la Osa Mayor. Si se prolonga la línea $\alpha\beta$ del lado de β vendrá á pasar por un cuadrilátero (Fig. 74): es el *Leon* (Leo), con su estrella

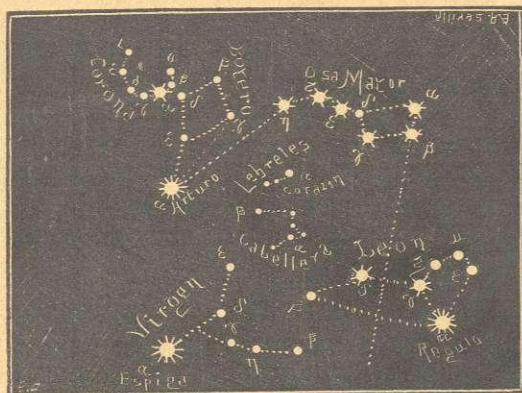


FIG. 74.—TERCERA ENFILACIÓN.

Régulo. Como se observa en la figura, á la izquierda del Leon, ó sea al Este, se encuentra *la Virgen* (Virgo), que

también pudiera encontrarse uniendo α de la Osa Mayor con γ y prolongando dicha línea hasta llegar á α de la Virgen, ó sea la *Espiga*.

La prolongación de la línea $\zeta\eta$ de la Osa Mayor pasa por el *Boyero*, en la que se encuentra *Arturo*. A su lado se ve la *Corona Boreal*. Por último, entre el Boyero, la Virgen, el Leon y la Osa Mayor se pueden ver los *Lebreles*, cuya estrella α se llama el *Corazón de Carlos II*, y la *Cabellera de Berenice*.

4.^a *enfilación*. Conocida la constelación de la Virgen, no hay más que trazar desde la Espiga una línea, que pase por

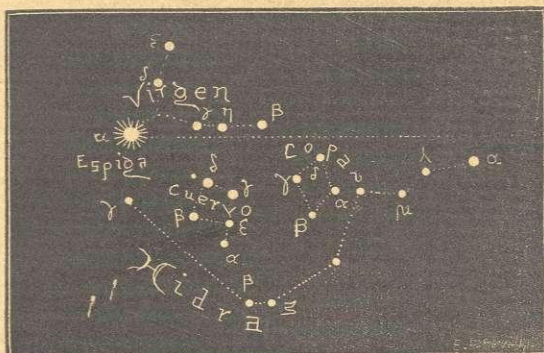


FIG. 75.—CUARTA ENFILACIÓN.

debajo de γ , η y β para encontrar debajo de ella el *Cuervo*, la *Copa* y la *Hidra*, afectando las formas que indica la figura 75.

5.^a *enfilación*. Una constelación facil también de reconocer cuando está sobre el horizonte es *Orión*. Compuesta de ocho estrellas principales, cuatro de las cuales afectan la forma de un cuadrilátero (*Fig. 76*), se distingue por su brillo, pues α (*Betelgeuse*) y β (*Rigel*) son de 1.^a magnitud; las demás son de 2.^a: κ brilla algo menos. Las tres estrellas que se encuentran en línea recta, dentro del cuadrilátero se llaman los *tres Reyes* ó el *cinturón de Orión*.

Conocida esta constelación no hay más que prolongar la línea de los tres Reyes á uno y otro lado, para encontrar las constelaciones del *Toro* y del *Perro Mayor*. En la prime-

ra está *Aldebaran*, tipo de las de 1.^a magnitud; en la segunda

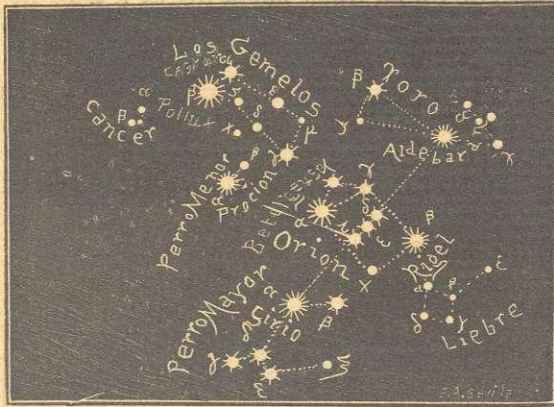


FIG. 76. - QUINTA ENFILACIÓN.

Sirio, la estrella más brillante del cielo. Prolongando la línea $\alpha\gamma$ del Toro se encuentran los Gemelos con sus dos estrellas *Castor* y *Pollux*. La línea $\alpha\beta$ de los Gemelos pasa junto al Cangrejo (Cáncer) Por último debajo de los Gemelos se vé al Perro Menor con su estrella *Procyón*.

6.^a enfilación.—Volvamos de nuevo á Pegasus. Prolongando la línea que une α de Andrómeda con α de Pegasus del

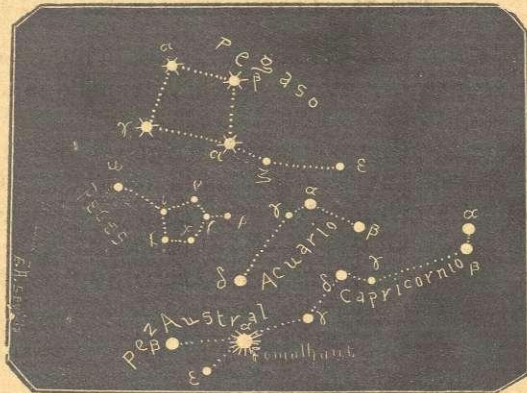


FIG. 77.—SEXTA ENFILACIÓN (A).

lado de esta última pasa (Fig. 77) por las constelaciones de

Acuario y de Capricornio. Si se prolonga $\beta\alpha$ de Pegaso se encuentran los Peces y el Pez Austral: en esta última brilla Fomalhaut.

Si ahora prolongamos $\gamma\beta$ de Pegaso (Fig. 78) $\zeta\epsilon$ de

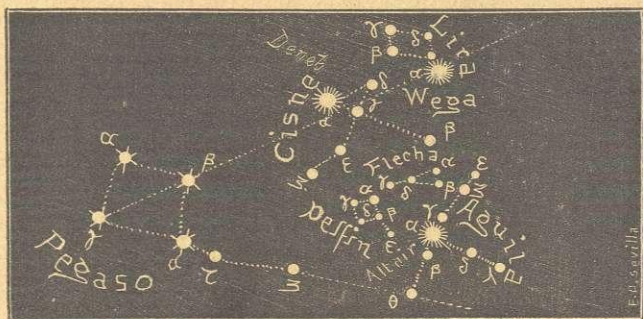


FIG. 78.—SEXTA ENFILACIÓN (B).

la misma constelación, dichas líneas comprenden entre sí varias constelaciones. El Cisne en forma de cruz con su α , Deneb; la Lira con su cuadrilátero pequeño y su estrella α Wega; el Aguila con su Altair y por último entre el Cisne y el Aguila el Delfin y la Flecha.

7.^a enfilación. Las tres estrellas Wega, Arturo y la Polar ocupan los vértices de un triángulo rectángulo en Wega. Pues bien, el lado de este triángulo que vá de Wega á Arturo pasa por la constelación de Hércules (Figura 79). Conocida esta constelación es fácil distinguir también la Balanza (Libra), la Serpiente y Ofiúco ó el Serpentario. Debajo de Ofiúco y afectando las formas que tienen en la

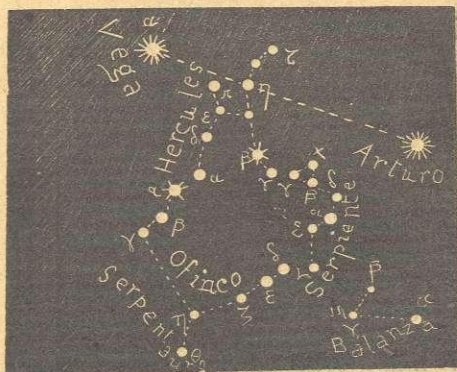


FIG. 79.—SÉPTIMA ENFILACIÓN (A).

figura 80, se encontrarán Sagitario y el Escorpión: en esta última brilla Antares. También pudiera encontrarse el Es-

corpión, prolongando la línea que une α de la Osa Mayor con Arturo, al otro lado de Arturo, una cantidad casi igual á la que dista esta estrella de la anterior.

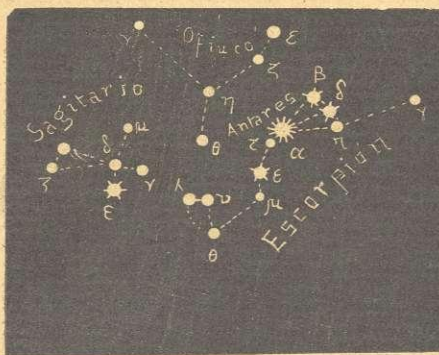


FIG. 80.—SÉPTIMA ENFILACION (B)

dica en la figura: en ella brilla *Achernar*.

9.^a enfilación. Conocida la *Hidra* se pueden enfilear perfectamente las constelaciones australes representadas en la figura 82, á saber, la *Cruz del Sud*, el *Centauro* y el *Navio* ó *Argos*; la primera está formada por cuatro estrellas principales en forma de cruz: es invisible en Sevilla: la segunda y tercera son en parte visibles y en parte invisibles.

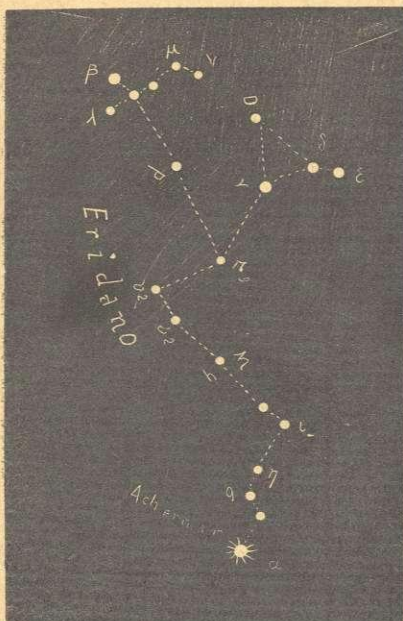


FIG. 81.—OCTAVA ENFILACION.

la línea que une α con γ del lado de esta última unas

8.^a enfilación. A la derecha de α de Orión (Rigel) se encuentra otra estrella, que es β del *Eridano*; esta constelación (*Figura 81*) se extiende hacia el S. como se indica en la figura: en ella brilla *Achernar*.

10.^a enfilación. Partiendo de la Cruz del Sud se puede determinar la posición de algunas estrellas principales. Esta constelación está representada en la figura 83. Prolongando la línea que une α con δ del lado de α una cantidad considerable se encontrará á *Fomalhaut*. Prolongando

diez veces la distancia que hay entre ellas, pasará por la Virgen donde puede encontrarse la Espiga. La línea que

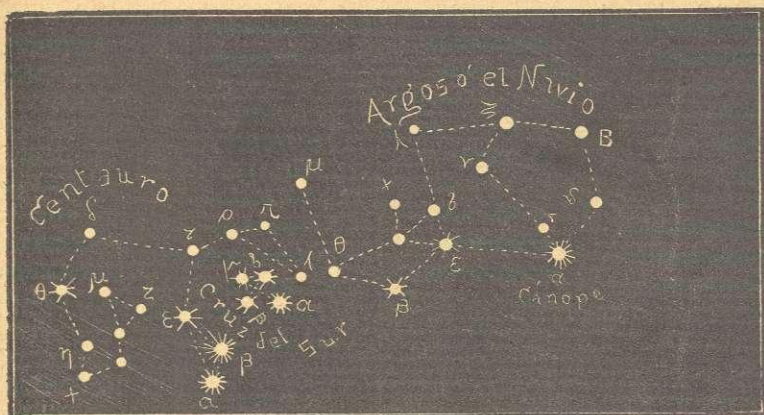


FIG 82.—NOVENA ENFILACION.

une δ con β encuentra más allá de esta y á corta distancia β y α del Centauro. Prolongando la línea que une α de la Cruz con β del Centauro pasará muy próxima de Antares. Por último la línea que une α y γ con δ de la Cruz pasará muy cerca de Cánope, si se prolonga suficientemente del lado de δ .

96. PRINCIPALES CONSTELACIONES QUE PUEDEN OBSERVARSE EN ESPAÑA, EN CADA UNA DE LAS ESTACIONES.

1.º En todas las estaciones pueden observarse las circumpolares, esto es; la Osa Mayor, la Osa Menor, Casiopea, el Dragón, Cefeo y la Girafa.

2.º En la primavera pueden observarse además los Gemelos, el Perro Menor, el Cangrejo, el Leon, la Cabellera de Berenice, los Lebreles, el Boyero, la Corona Boreal, la Virgen, el Cuervo, la Copa, la Hidra, la Balanza, Hércules, la

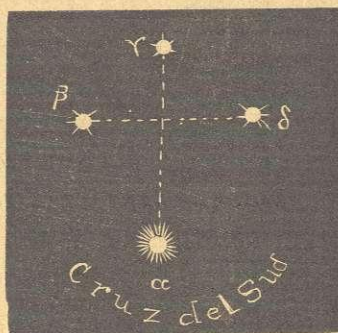


FIG. 83.

DÉCIMA ENFILACION.

Serpiente, Ofiúco ó el Serpentario, el Escorpión, la Lira y el Cisne.

3.º En el verano el Boyero, la Corona Boreal, la Virgen, la Balanza, Hércules, la Serpiente, Ofiúco, el Escorpión, Sagitario, la Lira, el Cisne, la Flecha, el Aguila, el Delfin, Capricornio, Acuario, Pegaso y Andrómeda.



FIG. 84.—VIA LACTEA (A)

4.º En el otoño la Lira, el Cisne, la Flecha, el Aguila, el Delfin, Capricornio, Acuario, el Pez Austral (Fomalhaut), los Peces, Pegaso, Andrómeda, Perseo, el Cochero, el Carnero, la Ballena, Eridano (en parte) el Toro, Orión y los Gemelos.

5.º En el invierno Pegaso, Andrómeda, Perseo, las Pleyades, el Cochero, el Toro, Orión, los Gemelos, el Perro Mayor, el Perro Menor, la Liebre, la Paloma, el Eridano (parte), el Navio ó Argos (parte), el León, la Cabellera de Berenice, los Lebreles, la Hidra, la Copa y la Virgen.

97 VÍA LACTEA.—Para concluir esta descripción del cielo estrellado hemos de mencionar la *vía láctea* ó *Camino de Santiago*: es la vía láctea (Fig. 84), una zona blancuzca, é irregular, que se observa sobre todo en las noches despejadas y sin Luna. Cruza toda la esfera celeste, atravesando varias constelaciones, de las cuales son las principales las siguientes partiendo del Ecuador hacia el Sud:

Orión, el Perro Mayor, el Navío, la Cruz del Sud, la Mosca Austral, el Centauro, el Altar, Sagitario, el Aguila, el Cisne, Cefeo, Casiopea, Perseo, el Cochero y los Gemelos. En la proximidad del Cisne se divide en dos partes (Fig. 85). El brazo mayor pasa por el Aguila y el menor por las cercanías de la Lira: ambos vuelven á encontrarse en el cielo austral, en la constelación del Altar. Según las últimas observaciones se compone de una gran multitud de estrellas, imperceptibles á la simple vista, y la mayor parte hasta empleando los más poderosos instrumentos. En algunos puntos se observan grandes espacios oscuros: los marinos han dado el nombre de *saco de Carbón*, al que está situado cerca de la Cruz del Sud.

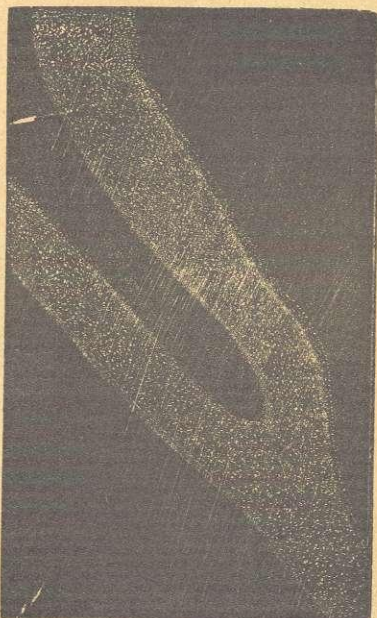


FIG. 85.—VÍA LÁCTEA (B).

Las innumerables estrellas que constituyen la via lactea forman un estrato comprendido entre dos superficies casi planas y paralelas, bastante próximas, si se toma en consideración la inmensa distancia á que se encuentran de nuestro globo.

CAPITULO IV.

MOVIMIENTO APARENTE DE LA ESFERA CELESTE

Indicado de un modo general (núm. 1) el movimiento aparente de los astros, vamos á estudiar más detenidamente este movimiento, que por verificarse en un *día* recibe el nombre de *movimiento diurno*.

ARTICULO I.

LEYES DEL MOVIMIENTO DIURNO.

98. RELACIÓN DE LA CURVA QUE DESCRIBE UNA ESTRELLA CON EL PLANO MERIDIANO: 1.^a LEY.—Sabemos (núm. 1) que la mayor parte de las estrellas aparecen por el Oriente, ascienden gradualmente, se estacionan un momento en el punto mas elevado de su trayectoria, y descienden luego, ocultándose finalmente por el Occidente.

Esto supuesto, sea E (*Fig. 86*) una estrella en el momento en que aparece sobre el horizonte NS de un observador, colocado en la Tierra T. EE'... E₁E₂ es la trayectoria ó cur-

va que describe esta estrella sobre el horizonte. Si el observador mide por medio del theodolito la altura de la estrella E , cuando se encuentra en E' , esta altura será el arco $e'E'$. Fijando el anteojo en esta posición, es claro que la estrella desaparecerá de su campo y seguirá su curva ascendente. Haciendo girar el theodolito, sin cambiar la inclinación del anteojo, hasta que este mire al Occidente, se comprende con facilidad que llegará un momento en que la estrella

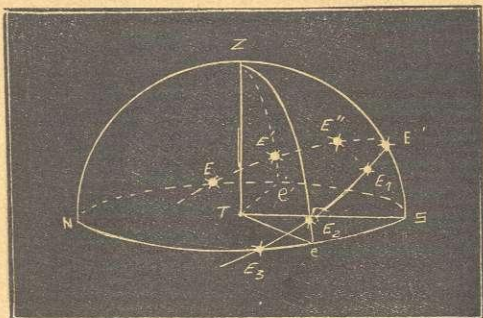


FIG. 86.—PRIMERA LEY DEL MOVIMIENTO DIURNO. (A)

estará dentro de su campo y en el punto E_2 , esto es, teniendo por altura el arco eE_2 , que es igual al $e'E'$.

Para encontrar la relación de la curva $EE'... E_2E_3$, descrita por la estrella, con el plano meridiano representado en la figura por el círculo máximo NZS , obsérvese que los dos planos verticales $TZE'e'$ y TZE_2e , que pasan por la estrella en las posiciones E' , E_2 , forman entre sí un ángulo diedro, cuya medida es el ángulo plano eTe' , ó el arco del horizonte eSe' .

Como se observa en la figura, el ángulo diedro $E'ZTE_2$ se encuentra dividido en dos ángulos, también diedros, por el plano meridiano, y así su valor eSe' será igual á $eS \mp Se'$. Ahora bien; $eS = Se'$, puesto que estas dos cantidades son el valor del azimut de la estrella cuando esta se encuentra en E' y en E_2 , y á alturas iguales corresponden siempre azimuts iguales, aunque de distinto sentido, si las alturas son de un mismo astro y tomadas una en su curva ascendente y otra en la descendente.

Si la observación anterior se hace con una estrella que no se oculta nunca, tal como E (Fig. 87) se nota que el plano meridiano contiene el punto más elevado E''' , ó sea la culminación de la trayectoria de la estrella, y el punto E_4 , ó sea el

más bajo, dividiendo además, como en el caso anterior, el arco eNe' en dos partes iguales eN y Ne' . Podemos, pues, expresar la relación existente entre la curva aparente de una

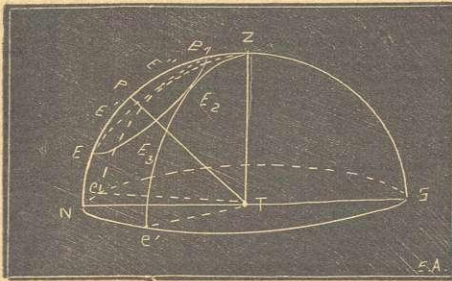


FIG. 87.—PRIMERA LEY DEL MOVIMIENTO DIURNO. (B)

estrella y el plano meridiano en la siguiente fórmula, que consideramos como la 1.^a ley del movimiento diurno:

1.^a Las estrellas describen en su movimiento diurno curvas aparentes, divididas en dos partes iguales y simétricas por el plano meridiano.

99. [RELACIÓN DE LA CURVA QUE DESCRIBE UNA ESTRELLA CON EL ECUADOR Y CON EL POLO: 2.^a LEY.—Sabido que las estrellas próximas al polo no se ocultan nunca debajo del horizonte, estando en nuestras latitudes, podemos por medio de ellas analizar bien la relación de sus curvas aparentes con el polo y con el ecuador. Sea E_1 un punto (Fig. 88) de la curva de una de estas estrellas. EE' representa el ecuador; PP' la línea de los polos; ZZ' la vertical, y NS el horizonte. Supongamos que la observación se hace con el theodolito cuando la estrella se encuentra en E_1 . Es claro que

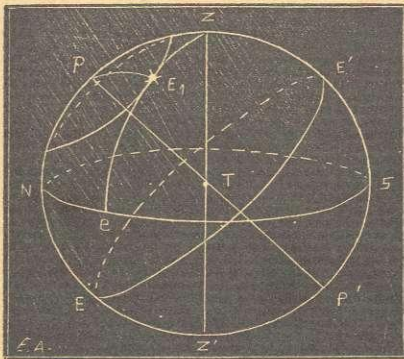


FIG. 88.—SEGUNDA LEY DEL MOVIMIENTO DIURNO.

trazando el arco de círculo máximo PE_1 , que es la distancia polar de la estrella, obtendremos un triángulo esférico (1)

(1) Este triángulo existe siempre en la esfera celeste, excepto cuando la estrella se encuentra en su culminación, ó en el punto más bajo de su trayectoria; esto es, en el plano meridiano.

(1) Este triángulo existe siempre en la esfera celeste, excepto cuando la estrella se encuentra en su culminación, ó en el punto más bajo de su trayectoria; esto es, en el plano meridiano.

E_1PZ cuyos vértices son la estrella E_1 , el polo P y el zenith Z . En este triángulo nos dá conocidos el theodolito tres elementos, á saber: el lado ZE_1 , que es la distancia zenithal de la estrella; el lado ZP , que es la distancia zenithal del polo, y el ángulo PZE_1 , que tiene de valor el arco del horizonte Ne , esto es, el azimut de la estrella, cuando está en E_1 . El triángulo E_1PZ está, pues, determinado. Resolviéndolo por uno de los procedimientos indicados en el número 86, se llega al conocimiento del lado PE_1 , esto es, la distancia polar de la estrella en el momento de la observación.

Ahora bien; cuantas veces se repita la observación precedente con la mencionada estrella se encontrará que su distancia polar es la misma. Teniendo ahora en cuenta que la distancia polar es el complemento de la declinación, y que la declinación de una estrella es la distancia que hay de ella al ecuador, medida en su máximo de ascensión, deduciremos con gran facilidad que la estrella en cuestión describe una curva, cuyos puntos equidistan del polo y del ecuador. Como las observaciones realizadas pueden hacerse con cualquiera de las estrellas, podemos formular la siguiente ley:

2.^a *Las estrellas describen en su movimiento diurno curvas aparentes, paralelas al ecuador celeste, siendo por consiguiente constantes su distancia polar y su declinación.*

100. RELACIÓN DE LA CURVA QUE DESCRIBE UNA ESTRELLA CON EL EJE DEL MUNDO: 3.^a LEY.—La relación de las curvas aparentes, que describen las estrellas en su movimiento diurno, con el eje del mundo es una consecuencia de lo consignado en el número anterior. El eje del mundo (*Fig. 89*) es el diámetro de la esfera celeste perpendicular al ecuador: por consiguiente es también perpendicular á las curvas aparentes de las estrellas, puesto que son paralelas al ecuador. Además, como los extremos del eje del mundo son los polos del círculo ecuatorial, el mencionado eje pasa por el centro del plano del ecuador, y por tanto por el centro de los planos que determinan los círculos menores,

que paralelos al ecuador describen las estrellas en su movi-

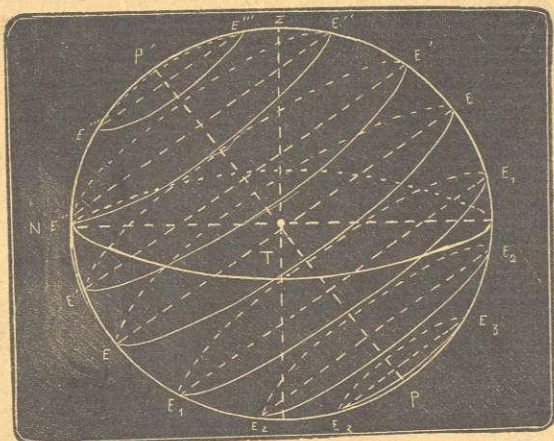


FIG. 89.—TERCERA LEY DEL MOVIMIENTO DIURNO.

miento diurno. Formulamos, pues, esta relación en la siguiente ley:

3.^a *Las estrellas describen en su movimiento diurno curvas aparentes, perpendiculares al eje del mundo y cuyo centro está sobre este eje.*

101. RELACION DE LA CURVA QUE DESCRIBE UNA ESTRELLA CON EL TIEMPO EMPLEADO EN RECORRERLA Y DE LOS TIEMPOS EMPLEADOS POR DISTINTAS ESTRELLAS ENTRE SÍ: 4.^a LEY. — Supongamos que, teniendo un reloj de gran precisión, se observa una estrella en el momento de su paso por el meridiano superior. Es claro que, cuando la estrella pase otra vez por dicho punto, el reloj marcará un número determinado de horas, minutos y segundos. Anotado este número, se puede comprobar que cuantas veces se repita la observación, ya sea con la misma estrella, ya sea con otra cualquiera, el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos por el meridiano superior es constante, y por consiguiente que el mismo tiempo emplea en recorrer su curva alrededor del eje del mundo una estrella que circula próxima al polo, que

otra cuya trayectoria se encuentra próxima al ecuador. Formulando este resultado obtenemos la siguiente ley:

4.^a *Los tiempos empleados por las estrellas en describir sus curvas aparentes en el movimiento diurno son iguales entre sí, cualquiera que sea su posición en la esfera celeste.*

102.—EQUATORIAL.—Las leyes consignadas en los números anteriores pueden comprobarse con un aparato indispensable en todo observatorio astronómico: *el ecuatorial.*

Consta esencialmente este instrumento de dos ejes, dos círculos y un anteojo astronómico (*Figura 90*).

Uno de los ejes, llamado *eje horario* y *eje polar*, el E' de la figura, está dirigido según el eje del mundo. Para dar á este eje la verdadera dirección del eje del mundo, lleva el soporte P del aparato en su parte superior una pieza en forma de arco de círculo, que permite medir el ángulo que forma el eje horario con el horizonte: haciendo que este ángulo sea igual á la altura del polo en el punto de la observación se consigue que el eje horario esté dirigido según el eje del mundo.

Lleva el eje horario en su extremo superior un *círculo horario* c, cuyo plano es paralelo al ecuador celeste: está

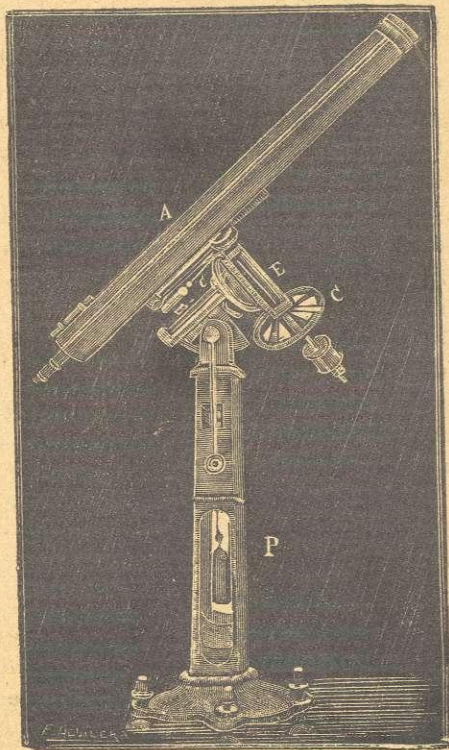


FIG. 90.—EQUATORIAL.

dividido en 24^h , que se subdividen más ó menos, según la importancia del instrumento.

El segundo eje, llamado *eje de declinación*, el E de la figura, está fijo perpendicularmente al eje horario. Lleva en su extremo inferior un *círculo de declinación* C, dividido en 360° : ordinariamente se divide en cuatro partes iguales, cada una de las cuales se gradúa de 0° á 90° .

El anteojo A está fijo, como se observa en la figura, al extremo superior del eje de declinación. En la parte inferior de este eje y debajo del círculo de declinación hay un contrapeso, que mantiene el anteojo en equilibrio en todas las posiciones.

Todo el instrumento puede girar alrededor del eje horario, movimiento que se mide en el círculo horario. El anteojo puede también moverse alrededor del eje de declinación, formando así un ángulo mayor ó menor con el eje horario.

Se comprende perfectamente con las nociones indicadas que el anteojo del ecuatorial puede dirigirse hácia todos los puntos de la esfera celeste. En efecto: 1.º haciendo girar el anteojo, el eje y círculo de declinación alrededor del eje horario, la prolongación del eje óptico del anteojo puede recorrer la esfera celeste de E. á O. según un paralelo de declinación. 2.º Si se fija el eje de declinación y se hace girar el anteojo á su alrededor, la prolongación de su eje óptico recorrerá la esfera celeste en la dirección de un máximo de ascensión.

Esto supuesto, el ecuatorial puede emplearse, como hemos dicho antes, para comprobar las leyes del movimiento diurno y para medir las coordenadas ecuatoriales, horario y declinación.

Basta para lo primero hacer girar el anteojo y el círculo de declinación alrededor del eje horario, hasta que la ascensión recta obtenida sea la de una estrella. En esta posición se fija el eje de declinación al eje horario, y se hace girar el anteojo alrededor del eje de declinación hasta que la declinación obtenida sea la de la misma estrella. En este momento se fija el anteojo y se pone el eje horario en comunicación con un aparato de relojería, que puede verse en el soporte P del ecuatorial. Este aparato de relojería hace que el eje horario

efectúe una rotación completa sobre sí mismo en 24^h siderales; por consiguiente, el anteojo que participa del movimiento dicho no deja de tener la estrella en su campo. Así se comprueba: 1.º, que el mismo tiempo emplea el anteojo en recorrer la parte ascendente de la curva de la estrella que la descendente; lo cual indica que el meridiano divide esta curva en dos partes iguales y simétricas (1.ª ley); 2.º, que el rayo visual dirigido hacia la estrella, forma un ángulo constante con el eje del mundo, puesto que el anteojo forma un ángulo constante con el eje del instrumento; lo cual da á conocer que la curva descrita por la estrella es un círculo perpendicular al eje del mundo y por consiguiente paralelo al ecuador (2.ª y 3.ª ley); 3.º, que la rotación medida sobre el círculo horario es proporcional al tiempo; lo cual indica que la estrella describe su curva con movimiento uniforme y que todas las estrellas se mueven con la misma velocidad angular y en el mismo sentido (4.ª ley).

El horario y la declinación de un astro se pueden medir muy facilmente con el ecuatorial. Suponiendo que el eje horario se encuentre en el plano meridiano, no hay más que buscar el astro, dando al instrumento los movimientos necesarios, para que una vez encontrado, el círculo horario dé el horario y el círculo de declinación la declinación del astro.

103. GENERALIZACIÓN Y SÍNTESIS DE LAS LEYES DEL MOVIMIENTO DIURNO: ROTACIÓN DE LA ESFERA CELESTE.—Siendo comunes á todas las estrellas las leyes formuladas en los números anteriores, se comprende con gran facilidad que el movimiento aparente de estos astros se efectúa, cual si estuviesen incrustados en el interior de una esfera gigantesca, que girase alrededor del eje del mundo y de Oriente á Occidente. Las leyes relativas al movimiento diurno pueden, pues, generalizarse y sintetizarse en la siguiente fórmula:

La esfera celeste gira aparentemente alrededor de la Tierra con movimiento uniforme de Oriente á Occidente.

Tan exacta y tan lógica es la deducción anterior, que, como hemos visto al estudiar el periodo de la Astronomía An-

tigua (Introd., Cap. 3.º, Art. 1.º), los Astrónomos de aquellos tiempos creían que la esfera celeste giraba realmente alrededor de la Tierra.

104. INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DEL OBSERVADOR SOBRE LA TIERRA EN EL ASPECTO DEL MOVIMIENTO DIURNO: ESFERA RECTA, PARALELA Y OBLÍCUA.—El aspecto que presenta á nuestra vista la rotación de la esfera celeste no es el mismo en todos los puntos de la Tierra. Claro está que un observador no puede *en la actualidad* colocarse en uno de los polos de nuestro globo; pero si tal posición no puede darse hoy *prácticamente*, puede suponerse en *teoría*.

Esto supuesto, un observador puede tener tres posiciones distintas sobre la Tierra: 1.ª, estar en uno de los polos; 2.ª, en el ecuador; 3.ª, en otro punto cualquiera.

1.ª caso. El observador tiene el polo celeste sobre su cabeza; su zenith y el polo ocupan el mismo punto en la esfera celeste, y su horizonte racional coincide con el ecuador. Ahora bien; como las estrellas describen círculos

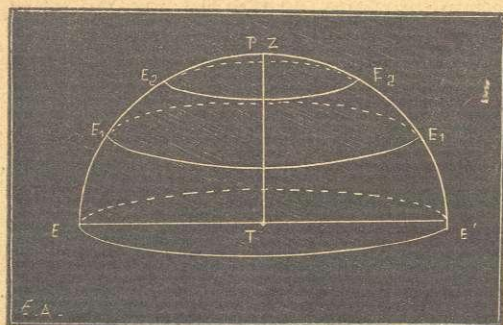


FIG. 91.—ESFERA CELESTE RECTA.

paralelos al ecuador, dicho observador verá constantemente los astros del hemisferio en que se encuentra, describiendo círculos paralelos al horizonte y perpendiculares á la línea vertical (*Fig. 91*). A esta posición de la esfera se dá el nombre de *esfera recta*.

2.º caso. El zenith del observador coincide en la esfera celeste con un punto del ecuador, la línea vertical es perpendicular al eje del mundo, y el horizonte contiene este eje. Dicho observador verá, pues, en el transcurso de un año todas las estrellas sobre su horizonte, con la par-

ticularidad de que la curva visible de estos astros es un semicírculo perfecto (Fig. 92). Llámase la esfera en este caso *esfera paralela*.

3.^{er} caso. (En el que nos encontramos en nuestros climas). El observador tiene su zenith entre el ecuador y el polo; la línea vertical forma

un ángulo con el eje del mundo, y el horizonte con el ecuador. Por tanto, para este observador, las estrellas describen sus curvas oblicuamente al horizonte; las más próximas al polo visible describirán su círculo entero á la vista del observador, las próximas al polo invisible no severán nunca y las demás describirán parte de su círculo sobre y parte debajo del horizonte (Fig. 93). Se designa esta posición con el nombre de *esfera oblicua*.

Las anteriores observaciones pueden sensibilizarse, bien con un globo celeste, bien con la esfera armilar. Para ello no hay más que dar al eje las inclinaciones correspondientes.

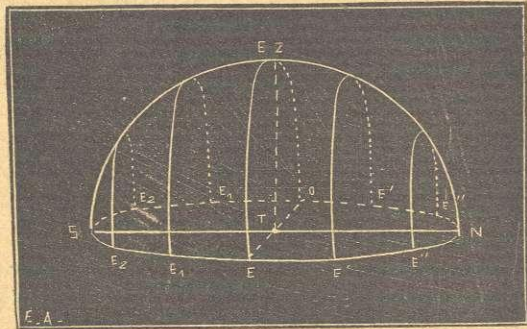


FIG. 92.—ESFERA CELESTE PARALELA.

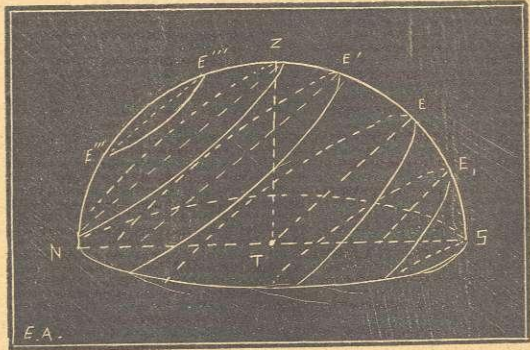


FIG. 93.—ESFERA CELESTE OBLICUA.

105. EXCEPCIÓN DE LAS LEYES DEL MOVIMIENTO DIURNO: SOL, LUNA, PLANETAS.—La uniformidad que hemos observado

en el movimiento diurno de la esfera celeste experimenta algunas variaciones por parte de los astros que forman el sistema solar.

Desde luego el Sol, como es fácil comprobar, no sale ni se pone todos los días por el mismo punto del horizonte, como las estrellas; ni tampoco alcanza, como estas, la misma altura, al pasar por el meridiano superior.

En cuanto á la Luna sus variaciones son tan notorias, que no hay quien ignore que su salida se *retrasa* todos los días un tiempo determinado.

Por otra parte, los astros que componen el sistema solar no conservan constantemente las mismas posiciones respecto de las estrellas, antes bien, como varias veces hemos indicado, pasan á través de las constelaciones en virtud de sus movimientos verdaderos.

Por último, el aspecto que presentan á nuestra vista las constelaciones variará también en el transcurso de los siglos á causa de la precesión de los equinoccios, del movimiento de traslación de nuestro sistema solar por los espacios y del movimiento propio de las estrellas.

ARTICULO II.

RESOLUCIÓN DE ALGUNOS PROBLEMAS.

106. DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA MERIDIANA.—Varios son los procedimientos que pueden emplearse, para determinar la línea meridiana.

1.º *El de las sombras.*—En virtud del movimiento diurno el Sol pasa todos los días por el meridiano superior, siendo mediodía en el momento en que pasa por este círculo. Colocando, pues, una varilla vertical ZT (*Fig. 94*) sobre un plano perfectamente horizontal, y en el punto por donde se quiere trazar la meridiana, es claro que, cuando el Sol esté en el meridiano, la sombra de la varilla será lo más corta posible y á la vez coincidirá en el plano horizontal con la línea meridiana. Como es muy difícil precisar con exactitud el momento en que la sombra es más corta, es preferible

emplear este otro procedimiento. Se marca un poco antes de mediodía el punto extremo de la sombra de la varilla; sea este punto B. Se une el punto B con T y con un radio TB se traza desde T como centro un arco de círculo BB'. En virtud del movimiento del Sol el extremo de la sombra de la varilla tocará en otro punto del arco BB' después de medio-

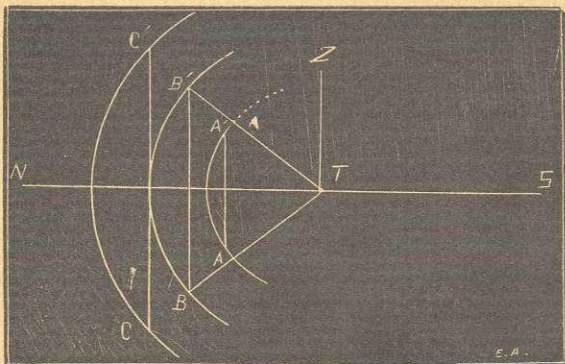


FIG. 94.— DETERMINACIÓN DE LA MERIDIANA.

día; sea este punto B'. Se une B' con T y con B. La bisectriz del ángulo BTB', que á su vez ha de pasar por el punto medio de la cuerda BB', es la línea meridiana.

Si se desea mayor precisión se marcan varios puntos como C, B, A antes de mediodía y se opera como antes: la línea meridiana estará dada por la bisectriz media correspondiente á las bisectrices de todos los ángulos trazados.

2.º *El de la brújula.*—Se llama *brújula* una aguja ó lámina de acero, de forma romboidal, delgada, bien imantada y colocada sobre un eje vertical en el centro de un cuadrante horizontal, graduado de 0º á 360º.

Abandonada la brújula, se *orienta* de N. á S. en un plano vertical al horizonte, llamado *meridiano magnético*: la brújula ya orientada representa la intersección del meridiano magnético con el horizonte: es pues la *meridiana magnética*. El meridiano magnético no coincide por regla general con el meridiano astronómico (núm. 74), antes bien, forma con él un ángulo, que se llama *declinación magnética*. El valor de este ángulo se obtiene en un punto cualquiera de la Tierra, midiendo el ángulo que forma la brújula orientada y la meridiana astronómica del lugar.

Recíprocamente, cuando se conoce el valor de la declinación magnética en un punto dado, se puede obtener la meridiana astronómica, trazando una línea que forme con la brújula un ángulo igual á la declinación magnética.

Como se vé, este procedimiento supone conocido en el punto en que se quiere trazar la meridiana y en el momento en que se hace la operación el valor de la declinación magnética. Es pues necesario tener presente para emplear este procedimiento: 1.º el valor general de la declinación magnética para el punto en que se opera; 2.º, las variaciones regulares, bien diurnas, bien seculares, que experimenta dicha declinación; 3.º las *perturbaciones magnéticas*, esto es, las variaciones bruscas é irregulares que por diferentes causas puede experimentar la mencionada declinación. Obsérvese que estas perturbaciones son á veces tan considerables que hacen perder á la brújula hasta su imantación.

3.º *El de la estrella polar.*—Las estrellas circumpolares pasan cada día dos veces por el meridiano. Se pueden pues observar en el momento de este paso, para trazar la meridiana. Se emplea ordinariamente para esta observación la *estrella polar*, esto es, α de la Osa Menor. Esta estrella está tan próxima al polo N., que el radio del círculo que describe á su alrededor vale tan solo $1^\circ 15'$, como hemos dicho en otro lugar.

Para determinar la meridiana por este procedimiento, se opera del siguiente modo. Se clava en la tierra un listón de madera ó un palo de dos ó tres metros de largo, procurando que quede un poco inclinado de E. á O., ó vice-versa; de su extremo libre se suspende una plomada que llegue hasta el suelo, y se marca el punto de contacto con la tierra, puesto que por él ha de trazarse la meridiana. A la distancia de un metro próximamente al S. ó al N. del hilo anterior se coloca otro en las mismas condiciones, procurando que pueda imprimirsele un movimiento de E. á O. y vice-versa, sin que por él varíe el hilo de su dirección vertical.

Se comprende perfectamente que, mirando la estrella polar por detrás de los dos hilos de las plomadas, estos hilos se encontrarán en el plano meridiano, si dicha estrella está

exactamente atravesada por ellos. Para que así suceda, no hay más que mover hácia el E. ó hácia el O. la segunda plomada. Colocados así los dos hilos en el plano meridiano, solo resta unir sus extremos, que tocan á la Tierra, por medio de una línea recta, para tener la meridiana del lugar (1).

107. DETERMINACIÓN DEL MERIDIANO.—La determinación del meridiano en un punto dado de la Tierra puede darse por resuelta con lo indicado en el número anterior. Exponemos sin embargo los procedimientos siguientes por lo generalizados que están.

1.º *El de las alturas iguales ó correspondientes.* Se toma el theodolito y se orienta de una manera cualquiera, pero procurando que el punto del círculo horizontal que se toma como origen de los azimuts se encuentre próximo al plano meridiano. Hecho esto se hace girar el círculo vertical hasta que una estrella E (Fig. 95) esté en la prolongación del eje óptico del anteojo en un punto cualquiera E' de su curva ascendente. Se lee la altura de la estrella en este momento E'e' y su azimut aproximado (2): sea su valor N. Fijo el anteojo en la posición que tiene, cuando se observa la altura de la estrella E'e', se hace girar el theodolito hácia el Oc-

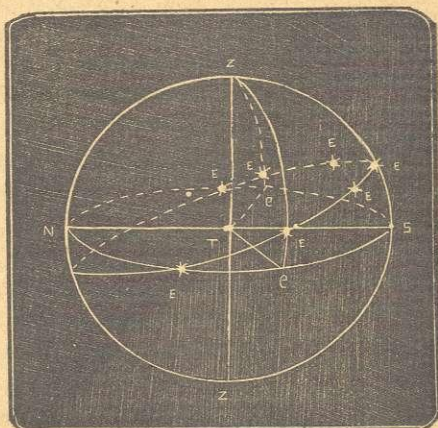


FIG. 95.
DETERMINACION DEL MERIDIANO.

(1) Suele recomendarse que se escoja para la observación una noche clara de luna y que se blanqueen los hilos para aumentar su visibilidad.

(2) Aproximado, porque el punto de origen no está en el meridiano.

cidente, á fin de poder observar de nuevo la misma estrella, cuando, al describir la parte descendente de su trayectoria visible, se encuentre en E_2 , teniendo por altura el arco E_2e igual al $E'e'$ anteriormente observado. Se lee en este momento y posición el nuevo azimut de la estrella: sea N' . Para obtener la dirección del plano meridiano no hay más que sumar los valores de los dos azimuts medidos, tomar su semisuma $\frac{N + N'}{2}$, y hacer girar el círculo vertical esta cantidad hácia el Oriente, para que esté en el plano meridiano; el anteojo móvil paralelamente al círculo vertical describe el meridiano. Colocando el anteojo perfectamente horizontal su eje óptico determina la posición de la meridiana.

Fúndase el anterior razonamiento en que, como decíamos en el número 98, el plano meridiano divide en dos partes iguales y simétricas la curva que describe una estrella en virtud del movimiento diurno. Ahora bien; nosotros hemos supuesto que se ha observado la estrella en dos posiciones simétricas de su trayectoria. Luego el meridiano se encuentra á una misma distancia de estas dos posiciones, y esta distancia es la que proporciona la semisuma de los azimut medidos.

Si se desea mayor precisión, se toman varias alturas de la estrella en su curva ascendente, anotando los azimuts que á ellas corresponden; se miden de nuevo los azimuts en otras tantas posiciones simétricas de la estrella en su curva descendente; se suman aquellos y estos, y su mitad dá el número de grados, minutos y segundos que dista el plano meridiano de la última posición del anteojo.

2.º *El de la mayor digresión de una estrella.* Este procedimiento, que puede considerarse como una variación del anterior, consiste sencillamente en observar la mayor digresión oriental y occidental de una estrella; medir sus azimuts en ambas posiciones, y tomar su mitad. La mayor digresión de una estrella se tiene, cuando su azimut ha alcanzado el valor máximo que puede tener.

3.º *El de las culminaciones.* Consiste simplemente en observar una estrella, cuando se encuentra próxima á su

culminación, ó punto más elevado de su trayectoria, en seguirla con el anteojo del theodolito y en fijar el círculo vertical en el momento en que la estrella deja de ascender, para comenzar á describir su curva descendente. Fúndase en que el meridiano contiene todas las culminaciones de las estrellas.

4.º *El de la observación de la polar.* Este procedimiento, que permite instalar con rapidez y facilidad un theodolito en el plano meridiano, está indicado en el *Conocimiento de los Tiempos*, que anualmente publica *Le Bureau des Longitudes* (Paris). Supone conocidas la hora sidérea y la latitud del lugar de la observación: es como sigue.

Se observa la Polar con el anteojo del theodolito y se anotan el valor del ángulo azimutal L y la hora sidérea en que se hace la observación. De este último dato se deduce el ángulo horario S de la Polar (1), y con el ángulo horario S y la latitud del lugar de la observación, como argumentos, se acude á la *Tabla de los Azimuts de la Polar*, que se encuentra en dicho libro: esta tabla dá para todos los lugares del hemisferio boreal, comprendidos entre 10° y 65° de latitud y de 10 en 10 minutos desde 0^h hasta 24^h , el azimut A de la estrella polar, contado desde el Norte. El azimut A será occidental ó positivo, si el ángulo horario S está comprendido entre 0^h y 12^h ; oriental ó negativo, si entre 12^h y 24^h .

A la dirección que se busca del meridiano corresponderá, puesto que el theodolito no está orientado, un ángulo azimutal L_0 : se encontrará por medio de la fórmula siguiente, en la que se ha de tener mucho cuidado con el signo de A .

$$L_0 = L \pm A \left\{ \begin{array}{l} - \text{Si las lecturas (del círculo azimutal)} \\ \text{crecen en el sentido de los azimuts po-} \\ \text{sitivos.} \\ + \text{Si las lecturas decrecen en el sentido} \\ \text{de los azimuts positivos.} \end{array} \right.$$

Como se vé, L_0 es la dirección que se busca del meridia-

(1) Basta para obtenerlo restar de la hora sidérea local la ascensión recta de la Polar, expresada en tiempo.

no; L el valor del ángulo azimutal observado, y A el azimut de la Polar encontrado en la tabla de los azimuts, valiéndose de la latitud del lugar y del ángulo horario de la Polar: este último se ha deducido á su vez de la hora sidérea local en el momento de la observación.

El cuadro siguiente indica la disposición de la tabla á que nos referimos. Hemos escogido de intento los paralelos de 37° y 38°, porque entre ambos se encuentra la latitud de Sevilla, 37° 22' 38" N.

Argumento horizontal: ángulo horario S.—Argumento vertical: latitud φ . S de 0h á 12h, azimut <i>occidental ó positivo</i> ; S de 12h á 24h, azimut <i>oriental ó negativo</i> .								
φ	0h 0m	0h 10m	0h 20m	0h 30m	0h 40m	0h 50m	1h 0m	φ
	24h 0m	23h 50m	23h 40m	23h 30m	23h 20m	23h 10m	23h 0m	
37.°	0.°0', 0	0.° 4', 1	0.° 8', 1	0.° 12', 1	0.° 16', 2	0.° 20', 2	0.° 24', 1	37.°
38.°	0. 0, 0	0. 4, 2	0. 8, 2	0. 12, 3	0. 16, 4	0. 20, 5	0. 24, 5	38.°

108. DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DEL POLO.—Se llama *altura del polo* en un punto cualquiera de la Tierra la inclinación del eje del mundo respecto del horizonte en dicho punto. Esta inclinación está dada por el ángulo que forman el eje del mundo y su proyección sobre el horizonte, ó

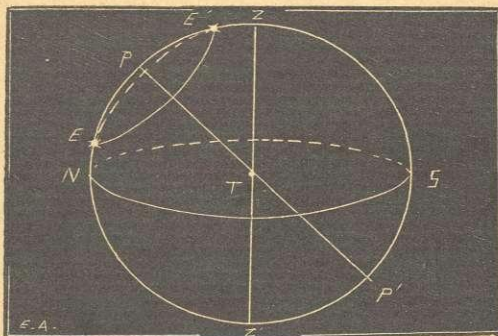


FIG. 96.—DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DEL POLO.

lo que es igual, por el arco del meridiano comprendido entre el horizonte y el polo.

Esto supuesto, la altura del polo en un punto cualquiera de la Tierra se determina midiendo con el theodolito la altura de una estrella circumpolar en sus dos

pasos por el meridiano y tomando su semisuma.

En efecto; sea T (*Fig. 96*) la posición de un observador

sobre la Tierra; NS el horizonte; PP' el eje del mundo; P el polo visible, y E, E' dos posiciones de una estrella circumpolar en sus dos pasos por el meridiano NPZSZ'.

Como se observa en la figura

$$\begin{aligned} NP &= NE + EP \\ NP &= NE' - E'P. \end{aligned}$$

Sumando ordenadamente estas dos igualdades, tenemos

$$2NP = (NE + EP) + (NE' - E'P)$$

de donde

$$2NP = NE + NE' + EP - E'P$$

pero EP y E'P son iguales por ser dos distancias polares de una misma estrella; y, como tienen signos contrarios, se destruyen; por tanto

$$2NP = NE + NE'$$

de donde

$$NP = \frac{NE + NE'}{2}$$

Por este procedimiento se puede comprobar que la altura del polo en Sevilla es de 37° 22' 38"

Conviene tener presente que la altura del polo en un punto cualquiera de la Tierra es igual á la distancia zenithal del ecuador en el mismo punto, así como también complemento de la altura de este último círculo sobre el horizonte. En efecto, se observa en la figura 97 que el arco del meridiano NP ó sea, la altura del polo, tiene por complemento el arco PZ; este arco es á su vez el complemento del arco E'Z, ó sea, de la distancia zenithal del ecuador; luego esta distancia y la altura del polo, que tienen el mismo complemento, son iguales. Del mismo modo el arco E'S, ó sea, la altura del ecuador tiene por complemento el arco E'Z, y como este arco es igual al NP, se deduce que la altura del ecuador y la altura del polo son cantidades complementarias.

109. DETERMINACIÓN DE LAS ESTRELLAS CONSTANTEMENTE VISIBLES, CONSTANTEMENTE INVISIBLES Y ALTERNATIVAMENTE

TE VISIBLES É INVISIBLES EN UN PUNTO CUALQUIERA DE LA TIERRA.—Conocida la altura del polo en un punto cualquiera, es fácil determinar qué estrellas son constantemente visibles, cuáles son constantemente invisibles y cuáles alternativamente visibles é invisibles en el mismo punto.

Obsérvese para comprender esta deducción, la figura 97.

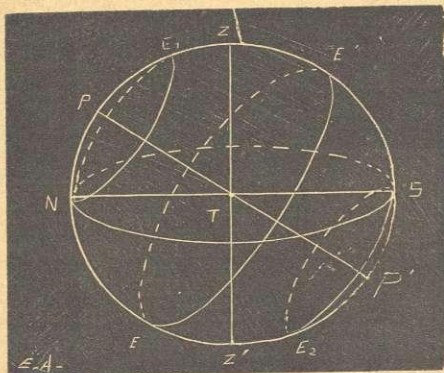


FIG. 97.—DETERMINACIÓN DE LAS ESTRELLAS VISIBLES ETC.

E_1 es una estrella, cuyo paralelo NE_1 dista del polo una cantidad igual á la altura del mismo polo NP . Es claro que la estrella E_1 describirá su paralelo sobre el horizonte, al cual pasará tangente como se indica en la figura. Todas las demás estrellas, cuya distancia polar sea menor que la de esta, describirán sus curvas sobre el horizonte.

Del mismo modo todas las estrellas del hemisferio opuesto á aquel en que se encuentra el observador y cuya distancia á aquel polo sea igual, como es la de E_2 , ó inferior á la altura del polo visible, describirán sus curvas por debajo del horizonte.

Todas las demás son alternativamente visibles é invisibles; esto es, describen una parte de sus curvas sobre el horizonte y otra por debajo de él.

Teniendo ahora en cuenta que la distancia polar de una estrella es el complemento de su declinación, se comprende con facilidad que, conocida la altura del polo en un punto, se puede determinar qué paralelo de declinación ha de describir una estrella, para que sea constantemente visible, constantemente invisible, ó alternativamente visible é invisible.

Ejemplo. La altura del polo en Sevilla es de $37^{\circ} 28' 38''$; su complemento es pues de $52^{\circ} 31' 22''$. Para que una estrella esté constantemente sobre el horizonte de Sevilla ha de describir un paralelo de declinación Norte igual ó superior á $52^{\circ} 31' 22''$. Lo mismo ha de suceder; aunque

con declinación Sud, para que otra estrella sea constantemente invisible. Así, la estrella Cánope es invisible en Sevilla, pues su declinación es de $-52^{\circ} 38' 27''$, 69. Las demás, cuyas declinaciones están comprendidas entre los paralelos de $52^{\circ} 31' 22''$ de declinación N. y S., son unas veces visibles y otras invisibles.

ARTÍCULO III.

DIVERSAS ESPECIES DE TIEMPO.

110. SENTIDO Y DURACIÓN DE LA ROTACIÓN DE LA ESFERA CELESTE.—Hemos dicho al sintetizar las leyes del movimiento diurno que el sentido de la rotación de la esfera celeste es de Oriente á Occidente y que su duración es constante y uniforme. Es, pues, muy facil concebir que este movimiento se puede tomar para medir el tiempo, puesto que la medida del tiempo ha de hacerse por una série uniforme y no interrumpida de fenómenos, fáciles de percibir por el hombre. Ahora bien; como el Sol no se mueve con la misma uniformidad que las estrellas, de aquí que surjan dos clases de tiempo, según que se tome como medida la rotación de la esfera celeste, ó el movimiento del Sol, á saber; *sidéreo* y *solar*. Se tiene el tiempo sidéreo, cuando se toma como medida la rotación de la esfera celeste: el solar, cuando se toma el movimiento del Sol.

§ I.—*Tiempo sidéreo.*

111. DIA, HORAS, MINUTOS Y SEGUNDOS SIDÉREOS.—El tiempo que emplea la esfera celeste en una rotación completa, se llama *día sidéreo*. Se determina por el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del punto de Aries por el meridiano de un lugar. El día sidéreo se divide en 24 horas *sidéreas*; cada hora en 60 minutos *sidéreos* y cada minuto en 60 segundos *sidéreos*.

112. PÉNDULO SIDÉREO.—Se llama *péndulo sidéreo*, un péndulo que marque exactamente 24 horas durante un día sidéreo. Su cuadrante está ordinariamente dividido en 24^h y suele llevar tres agujas que se mueven sobre el mismo eje.

El péndulo sidéreo ha de marcar 0^h , 0^m , 0^s , en el momento preciso del paso del punto vernal por el meridiano del lugar de la observación y después marcar las horas con toda uniformidad; esto es, á medida que el ángulo horario comprendido entre el punto vernal y el meridiano aumenta, por ej. 15° , 30° ... etc., el péndulo ha de marcar 1^h , 2^h ... etc.

No es sin embargo tan necesaria esta conformidad, que no se pueda prescindir de ella: basta conocer la diferencia entre el tiempo sidéreo y el solar, la que aplicada al péndulo convenientemente, cuando este marca la hora solar, dará la hora sidérea.

113. ARREGLO DE UN RELOJ POR EL TIEMPO SIDÉREO.— Cuando se desea arreglar un reloj por el tiempo sidéreo, no se puede acudir al paso del punto de Aries por el meridiano, puesto que dicho punto no puede divisarse sobre la esfera celeste, como se divisa un astro: de aquí que se empleen otros procedimientos. Consiste uno de los más exactos en observar una estrella, cuya ascensión recta es conocida, en el momento de su paso por el meridiano. Se comprende con facilidad que, siendo el punto vernal el origen de las ascensiones rectas y el origen del día sidéreo, la ascensión recta de una estrella, en el momento en que pasa por el meridiano, expresada en tiempo, dará la hora sidérea del lugar de la observación. Basta por consiguiente hacer que en dicho momento marque el reloj un número de horas, minutos y segundos igual á la ascensión recta de la estrella observada, para tener la hora sidérea.

Valiéndose del theodolito ó del ecuatorial, puede arreglarse el reloj, aunque el astro no esté en el meridiano. No hay más que sumar ó restar la diferencia entre el horario de la estrella observada y el meridiano á la ascensión recta de la misma estrella, y se tendrá la hora sidérea local. Se suma, cuando la estrella se encuentra al O. del meridiano; se resta, cuando está al E.

§ II.—*Tiempo solar.*

114. DIA, HORAS, MINUTOS Y SEGUNDOS SOLARES.— El tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del cen-

tro del Sol por el mismo meridiano se llama *día solar*. El día solar se divide también en 24 horas: cada hora en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos del mismo tiempo.

En aquellos puntos de la Tierra en que el Sol *sale* y *se pone* todos los días, se llama *día* el espacio de tiempo que emplea el sol en recorrer su curva visible en virtud del movimiento diurno de la esfera celeste, y *noche* el que emplea en recorrer la parte de su curva debajo del horizonte. En este caso se dice que es mediodía en el momento en que el centro del Sol pasa por el meridiano superior, y media noche en el momento en que pasa por el meridiano inferior.

115. TIEMPO SOLAR ASTRONÓMICO Y TIEMPO SOLAR CIVIL.

— Los Astrónomos cuentan el tiempo solar de 0^h á 24^h, partiendo del momento en que el centro del Sol pasa por el meridiano superior; esto es, de mediodía á mediodía: se llama *tiempo solar astronómico*.

En los usos comunes de la vida se hace comenzar el día solar en el momento en que el centro del Sol pasa por el meridiano inferior. Se cuenta de 0^h á 12^h; esto es, de media noche á mediodía, y nuevamente de mediodía á media noche. Se distinguen unas horas de otras, agregando á las primeras, de la *mañana*, y á las segundas, de la *tarde* y de la *noche*: este tiempo se llama *tiempo solar civil*.

Es muy fácil pasar de un tiempo á otro, teniendo en cuenta que el día solar astronómico ha comenzado á contarse 12^h después del día solar civil.

Así: disminuído el tiempo civil en 12^h, se tiene el tiempo astronómico. Si el tiempo civil estuviese expresado en horas de la *tarde*, ó de la *noche*, suprimase la palabra *tarde* ó *noche*, y se tendrá el tiempo astronómico. Pero si estuviese expresado en horas de la *mañana*, quítese un día á la fecha, añádanse 12^h y se tendrá el tiempo astronómico.

Recíprocamente. Auméntese el tiempo astronómico en 12^h y se tendrá el tiempo civil. Si el número de horas del tiempo astronómico es menor que 12, añádase la palabra *tarde* y se tendrá el tiempo civil. Pero si fuese mayor que 12, quítensele 12^h, disminúyase en un día la fecha y se tendrá el tiempo civil en horas de la *mañana*.

116. DIFERENCIA ENTRE EL DÍA SOLAR Y EL SIDÉREO.— El tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del punto vernal por el mismo meridiano no es igual al transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol; antes bien, el Sol se retrasa cada día una cantidad variable; de modo que si un día pasan al mismo tiempo y por un mismo meridiano el Sol y una estrella, al día siguiente pasará por dicho meridiano la misma estrella próximamente unos 4^m antes que el Sol; al día siguiente 8^m, y así sucesivamente; esta cantidad se llama *aceleración de las fijas*.

117. TIEMPO SOLAR VERDADERO Y MEDIO.— El tiempo solar de que hemos hablado hasta aquí se llama *tiempo solar verdadero*. Se funda esta denominación en que en él se toma como medida del tiempo el Sol verdadero, el que nos ilumina, en su movimiento aparente alrededor de la Tierra en virtud del movimiento diurno de la esfera celeste. Pero este movimiento no es, como indicábamos en el número 105, tan uniforme como el de las estrellas, sino que como hemos dicho en el número anterior se retrasa cada día unos 4^m con relación á ellas. Si este retraso fuese una cantidad constante para cada día, el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el mismo meridiano, sería distinto del de una estrella, pero uniforme, y como tal apto para servir de medida. Pero no es así como sucede. En efecto; débese este retraso al movimiento aparente del Sol á través de las constelaciones y en sentido contrario á la rotación de la esfera celeste. En virtud de este movimiento la ascensión recta y la declinación del Sol varían sin cesar, puesto que el círculo máximo de la esfera celeste que el Sol recorre aparentemente á causa de este movimiento es la eclíptica, que, como sabemos, forma un ángulo con el ecuador. Agréguese á lo dicho que el Sol no recorre la Eclíptica (1)

(1) Este movimiento que aplicamos al Sol, en virtud del cual recorre la eclíptica no es más que aparente, como aparente es el de rotación de la esfera celeste. Como se verá más adelante son movimientos

con movimiento uniforme, sino que en unos puntos de ella se mueve con más lentitud que en otros y se comprenderá fácilmente que dicho movimiento no se puede tomar como medida del tiempo, puesto que ni es uniforme, ni invariable.

Estas dificultades han hecho que los Astrónomos imaginen un sol ficticio, que recorra el ecuador celeste en el mismo tiempo que el Sol verdadero recorre la eclíptica, pero con movimiento uniforme: este movimiento se ha tomado como medida del tiempo. El Sol así imaginado se llama *Sol medio*; el tiempo á que da origen, *tiempo medio*; *mediodía medio* el momento en que el Sol medio pasa por el meridiano superior; *media noche media* el momento en que pasa por el meridiano inferior; *día solar medio* el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano. El día solar medio se divide como el verdadero en 24 horas medias; cada hora en 60 minutos, y cada minuto en 60 segundos del mismo tiempo. El día solar medio puede ser también astronómico y civil; astronómico, si se cuenta de mediodía medio al mediodía medio siguiente y de 0^h á 24^h; civil si de media noche media á la media noche media siguiente y de 0^h á 12^h, como dijimos al hablar del día solar verdadero civil.

Compréndese por lo dicho que el Sol medio coincidirá alguna vez con el Sol verdadero en el transcurso de un año. Así es en efecto; cuatro veces al año el 15 de Abril, el 15 de Junio, el 1.º de Septiembre y el 24 de Diciembre ambos soles pasan por el meridiano con una diferencia de pocos segundos. Desde el 15 de Abril hasta el 15 de Junio y desde 1.º de Septiembre al 24 de Diciembre, el Sol verdadero pasa antes que el Sol medio; en el resto del año sucede lo contrario.

118. ECUACIÓN DE TIEMPO.— Se llama ecuación de tiempo la diferencia entre el tiempo medio y el tiempo verdade-

de la Tierra, que no pudiendo ser inmediatamente percibidos por el hombre, á causa de su pequeñez y de la gran magnitud del globo terrestre, los atribuye á los objetos que están situados fuera de este globo. Téngase presente esta observación para no confundir las ideas.

ro. Esta diferencia no es más que la cantidad que hay necesidad de sumar al tiempo verdadero ó restar de él en un momento dado, para tener el tiempo medio. Se suma, cuando el tiempo verdadero está retrasado con relación al medio; se resta, cuando está adelantado.

119. HORA REDUCIDA.—Los datos que suministran las efemérides astronómicas se refieren á un meridiano determinado, que por esta razón se denomina *meridiano de las tablas*. Importa mucho por consiguiente á un observador, cuyo meridiano es distinto del de las tablas, conocer qué hora de este último meridiano corresponde á la suya. Esto, que se llama *hora reducida*, se consigue con gran facilidad reduciendo la longitud del observador á tiempo y sumándola, si está situado al O. del meridiano de las tablas; ó restándola, si se encuentra al E., de la hora del lugar de la observación. Lo contrario ha de hacerse, si se quiere saber qué hora del observador corresponderá á una hora del meridiano de las tablas.

Ejemplo 1.º El día 25 de Marzo de 1900 se ha observado el planeta Júpiter en Sevilla á 16 h 25 m 44 s, 2 de tiempo medio. Siendo la longitud de Sevilla 0 h 0 m 50 s, 2 E. de S. Fernando, ¿qué hora del mismo tiempo se contará en este observatorio?

Tiempo medio astronómico del observador en Sevilla.	16 h 25 ^m 44 s, 2
Longitud E. de Sevilla expresada en tiempo	0 0 50 s, 2
	16 h 24 ^m 54 s, 0
Tiempo medio astronómico de S. Fernando correspondiente	16 h 24 ^m 54 s, 0

Ejemplo 2.º El día 21 de Junio de 1900 á 9 h 15 m de tiempo medio de S. Fernando, entra el sol en Cáncer, ¿qué hora del mismo tiempo será en Sevilla al verificarse este fenómeno?

Tiempo medio astronómico de S. Fernando.	9 h 15 ^m
Longitud E. de Sevilla expresada en tiempo	0 0 50 s, 2
	9 h 15 ^m 50 s, 2
Tiempo medio astronómico de Sevilla correspondiente.	9 h 15 ^m 50 s, 2

El tiempo obtenido puede convertirse en tiempo civil, siguiendo las reglas dadas en el núm. 115.

120. PROCEDIMIENTOS PARA PASAR DE UN TIEMPO Á OTRO.

—*El Almanaque Náutico*, que, como hemos dicho en otro lugar, publica anualmente *El Instituto y Observatorio de Marina de S. Fernando*, suministra los datos necesarios para pasar de un tiempo á otro. A esta excelente publicación *española* nos referimos en los puntos siguientes:

1.º *Conversión del tiempo medio en sidéreo.*—Conviértase con el auxilio de las *Tablas* correspondientes del Almanaque el tiempo medio absoluto,—intervalo de tiempo medio transcurrido desde 0^h,—en intervalo equivalente de tiempo sidéreo: al dato, así obtenido, súmese el tiempo sidéreo que den las *Efemérides*, y que trae el citado Almanaque, para 0^h del día de la fecha. La suma que resulte será el tiempo sidéreo pedido. Si dicha suma excediese de 24^h, el exceso será el tiempo sidéreo.

El procedimiento anterior solo es aplicable al meridiano de S. Fernando: si se estuviese en otro meridiano, se procede del siguiente modo. Se expresa en tiempo la longitud del nuevo punto con relación al meridiano de S. Fernando y se hacen las operaciones indicadas anteriormente, con la única variación, de emplear, en vez del tiempo sidéreo á 0^h de S. Fernando, el correspondiente á 0^h del nuevo meridiano. Para obtener este último dato, basta aplicar al primero una corrección *aditiva*, si la longitud es *occidental* y *subtractiva* si es *oriental*, á razón de 9,^s 865 por cada hora de longitud. Para más facilidad las *Tablas* mencionadas dan la corrección, tomando la diferencia entre cada argumento y su resultado.

Ejemplo 1.º Se desea el tiempo sidéreo correspondiente á 15^h 12^m 17^s de tiempo medio el día 12 de Julio de 1900, en el meridiano de San Fernando.

Tiempo medio.	Intervalo sidéreo equivalente.
15 ^h	15 ^h 2 ^m 27, ^s 85
12 ^m	12 ^m 1, ^s 97
17 ^s	17, ^s 05
<hr/>	
Intervalo sidéreo transcurrido desde 0 ^h .	15 14 46, 87
Tiempo sidéreo á 0 ^h en S. Fernando (12 Julio, Tab.)	7 19 46, 19
<hr/>	
Tiempo sidéreo pedido	22 34 33, 06

Ejemplo 2.º Se desea el tiempo sidéreo correspondiente á 12^h 18^m 15^s de tiempo medio el día 12 de Agosto de 1900 en Sevilla, cuya longitud es 0^h 0^m 50,5 2 E. de S. Fernando.

	Tiempo medio.	Interv. sid. equiv.
Tiempo sidéreo á 0 ^h en San	12 ^h . . .	12 ^h 1 ^m 58,5 ^s 28
Fernando (12 Agosto, Tablas) 9 ^h 21 ^m 59,42.	18 ^m . . .	18 2, 95
	15 ^s . . .	15, 04
	Interv. sid. trans-	
	currido desde 0 ^h	12 20 16, 27
Correen. } Por 50 ^s 8 ^s ,21		
(Tablas) } Por 0,2 0 0005		
Corrección sus-		
tractiva 50,2 8,2105	8 ^s ,2105	
Tiempo sidéreo á 0 ^h en Sev. 9 ^h 21 ^m 51,2095	. . . . .	9 21 51, 2095
Tiempo sidéreo pedido.	. . . . .	21 42 07, 4795

2.º *Conversión del tiempo sidéreo en tiempo medio.*—
Del tiempo sidéreo dado réstese el que tienen las Efemérides para 0^h del día de la fecha; el residuo obtenido, que no es más que el intervalo de tiempo sidéreo transcurrido desde 0^h de tiempo medio, conviértase con el auxilio de las Tablas en intervalo equivalente de tiempo medio y se tendrá el tiempo medio pedido. Si la substracción, de que se hace mérito, no se puede efectuar, agréguese al tiempo sidéreo dado 12 horas.

Si el meridiano del punto de la observación fuese distinto del de S. Fernando no hay más variación que la de emplear, en vez del tiempo sidéreo á 0^h de S. Fernando, el correspondiente á 0^h del nuevo meridiano. Este dato puede obtenerse, como hemos dicho al indicar la conversión del tiempo medio en sidéreo. Los ejemplos indicados anteriormente manifiestan cómo ha de realizarse el cálculo.

3.º *Conversión del tiempo medio en tiempo verdadero.*—
Indicado en el número 118 lo que se entiende por ecuación de tiempo y en el 119 por hora reducida, el tiempo medio se convierte en tiempo verdadero del modo siguiente. Las Efemérides del Almanaque Náutico dán para cada día del año

á 0^h de tiempo medio la ecuación de tiempo con el signo + ó el — . Por tanto, la hora de tiempo verdadero, que corresponde á mediodía medio, será la misma ecuación de tiempo, si tiene el signo + . Si tuviese el —, réstese dicha ecuación de 24^h y se tendrá el tiempo verdadero, que pertenecerá al día astronómico anterior.

Si la ecuación de tiempo que se desea no es á 0^h, sino á otra hora cualquiera de tiempo medio, es necesario hallar la parte proporcional de la variación de dicha ecuación en las 24^h, que comprenden al instante dado. Esta parte proporcional puede obtenerse con facilidad, multiplicando la hora reducida por la variación horaria de la ecuación mencionada, que se encuentra en la página III de cada mes, cambiándole el signo. El producto obtenido se suma *algebraicamente* á la ecuación de tiempo que corresponde á 0^h. El resultado de la suma es la ecuación de tiempo correspondiente á la hora dada de tiempo medio. Por tanto, adicionando á esta hora dada, ó substrayendo de ella la ecuación de tiempo, últimamente obtenida, se tendrá el tiempo verdadero.

Ejemplo 1.º Se desea la hora verdadera, que corresponde á 0^h el día 10 de Junio de 1900.

Ecuación de tiempo (10 Junio, Efemérides) . . . + 0^h 0^m 52^s, 86
 Tiempo verdadero á 0^h de tiempo medio (10 de Junio) 0^h 0^m 52^s, 86

Ejemplo 2.º Se desea la hora verdadera que corresponde á 0^h de tiempo medio el día 29 de Junio de 1900.

Ecuación de tiempo (29 Junio, Efemérides) . . . — 0^h 3^m 19^s, 50
 Tiempo verdadero á 0^h de tiempo medio (29 Junio) . 23^h 56^m 40^s, 50,
 que corresponde al día 28 de Junio.

Ejemplo 3.º Se desea la hora verdadera en Sevilla el 8 de Marzo de 1900 á 10^h 15^m 50^s, 2 de tiempo medio. Siendo la longitud de Sevilla 0^h 0^m 50^s, 2 E. de S. Fernando, la hora reducida será (núm. 119) en la citada fecha y hora dada 10^h 15^m 0^s. Multiplicando esta hora reducida, que expresada en decimales para más facilidad es 10^h, 25 por —0^s, 619, que es la variación horaria de la ecuación de tiempo en 8 de Marzo, cambiándole el signo, se obtiene el producto + 6^s, 34, como parte proporcional de la variación horaria en 24 horas.

Esto supuesto, tenemos

Ecuación de tiempo á 0 ^h (8 Marzo, Efemérides)	— 0 ^h 11 ^m 1 ^s , 27
Parte proporcional encontrada para la hora dada	+ 0 ^h 0 ^m 6 ^s , 34
Ecuación de tiempo para la hora dada.	— 0 10 54, 93
Hora dada de tiempo medio	10 15 50, 2
Tiempo verdadero en Sevilla el 8 de Marzo á 10 ^h } 15 ^m 50 ^s , 2 de tiempo medio. }	10 04 55, 09

4.º *Conversión del tiempo verdadero en tiempo medio.*—

Se convierte el tiempo verdadero en tiempo medio con ligerísimas variaciones como en el caso anterior el medio en verdadero. Ha de tenerse presente para esto que en la página III de cada mes dá el Almanaque Náutico la ecuación de tiempo necesaria para cada día á 0^h de tiempo verdadero. Así, la hora de tiempo medio que corresponde á 0^h de tiempo verdadero es la misma ecuación de tiempo si tiene el signo +. Si tuviese el —, se resta de 24^h y se cuenta un día menos.

Para encontrar la ecuación de tiempo correspondiente á otra hora cualquiera de tiempo verdadero, se procederá como en el caso anterior con la diferencia de emplear la variación horaria *con su propio signo*. Lo dicho anteriormente y los ejemplos dados nos excusan de más explicaciones.

122. PREOCUPACIONES SOBRE LA MARCHA DE LOS RELOJES.—Antes de terminar este artículo nos parece muy oportuno deshacer dos preocupaciones acerca de la marcha de los relojes. Creen algunos que un reloj no es bueno si atrasa ó si adelanta; esta afirmación es verdadera, cuando el reloj atrasa ó adelanta una cantidad irregular, pero no lo es, si la cantidad que atrasa ó adelanta es una cantidad constante en cada 24 horas. Figúranse otros que un reloj no es bueno, si no marcha constantemente de acuerdo con el Sol; lo cual es una gran equivocación, puesto que siendo, como hemos ya dicho, irregular el movimiento del Sol, al recorrer la eclíptica, es claro que cuanto mejor sea el reloj, tanto menos podrá marchar de acuerdo con el Sol.

§ III.—*Determinación directa del tiempo solar verdadero*

123. RELOJES DE SOL: SUS CLASES.—La hora de tiempo solar verdadero en un momento dado se obtiene por medio de los relojes de Sol (1). *Reloj solar* es, pues, el que expuesto á los rayos del Sol señala la hora de tiempo verdadero. *Plano del reloj* es aquel sobre el cual se hace la delineación del reloj: este plano da nombre al reloj con relación al plano del círculo máximo de la esfera celeste, al cual es paralelo. Cuando el reloj está construido sobre un plano paralelo al plano del ecuador celeste, se llama *reloj equinoccial*; *horizontal*, si al plano del horizonte; *meridiano*, si al plano meridiano; *polar*, si al plano que pasa por los polos del mundo y por los puntos E. y O.; *vertical*, si á uno de los planos verticales: puede ser este último *sin declinación* y *declinante*; el primero está construido sobre un plano paralelo al *vertical primario*; el plano del segundo es paralelo á otro *vertical cualquiera*.

Líneas horarias son las que en el plano del reloj marcan las horas, cuando sobre ellas cae la sombra del gnomon ó stylo. Por último, *polo ó centro* del reloj es el punto donde concurren y se cortan todas las líneas horarias.

124. FUNDAMENTO DE LOS RELOJES DE SOL.—Sabemos que en virtud del movimiento diurno el sol recorre de mediodía verdadero á mediodía verdadero un círculo de la esfera celeste, perpendicular al eje del mundo. Si, en vez de dividir este círculo en 360°, lo dividimos en 24 partes iguales, y hacemos pasar por cada una un plano perpendicular á

(1) En otros tiempos el estudio de los relojes de sol se hacía con gran extensión: llamábase este estudio *Gnomónica*, porque las horas se indican en dichos relojes por una varilla metálica ó por un cuerpo opaco, llamado *gnomon*. Hoy que los relojes están tan perfeccionados, los relojes de sol han perdido su importancia y por consiguiente su estudio. Sin embargo, cuando están bien contruidos pueden ser muy útiles, porque dan directamente y con exactitud la hora de tiempo verdadero.

dicho círculo, obtendremos 12 planos, cuya intersección común será el eje del mundo, el cual los dividirá por consiguiente en 24 semi-planos. Cuando el Sol se encuentre en el meridiano, que es de los 12 planos anteriores, el perpendicular al horizonte en el lugar de la observación, será mediodía; cuando esté en el siguiente 1^h; en el que sigue á este último 2^h, y así sucesivamente hasta llegar á las 24^h, que pueden dividirse, como sabemos, en dos partes de 12^h cada una (1).

Sabemos también (núm. 106) que la sombra proyectada por una varilla vertical, clavada en un plano horizontal, coincide con la meridia-

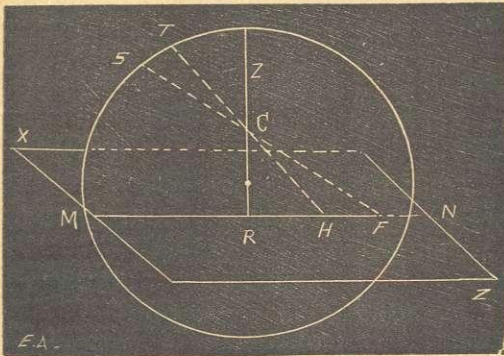


FIG. 98.

FUNDAMENTO DE LOS RELOJES DE SOL.

na en el momento preciso de mediodía. Para comprender ahora qué dirección tomará la sombra de la varilla en el plano horizontal en otra hora cualquiera, obsérvese la figura 98. XZ es un plano horizontal; MST el meridiano; MN la meridia-
na, y RC una varilla vertical. Si suponemos que el Sol está en S, la sombra del extremo de la varilla caerá en F sobre la línea meridiana y la sombra de toda la varilla RC caerá sobre la meridia-
na RF. Si el Sol estuviese en T un poco más elevado, pero en el mismo plano meridiano, la sombra del extremo y de toda la varilla coincidiría también con la meridia-
na. Puede darse como razón de este fenómeno, que, propagándose la luz en línea recta, el rayo luminoso SC es recto, y por consiguiente CF; luego SC y CF están

(1) Compréndese ahora con toda perfección, porque los planos y círculos de declinación se llaman también planos y círculos horarios (núm. 83).

en el mismo plano y por consiguiente la varilla RC y su sombra RF.

Cuando el Sol pasa del meridiano á otro punto de la esfera celeste, es claro que ocupa otro plano vertical al punto en que se encuentra el observador; la varilla RC será la intersección de este nuevo plano con el plano meridiano, y por consiguiente la sombra de la varilla coincidirá en el plano horizontal con la intersección del nuevo plano vertical y el dicho horizontal.

Ahora bien; el Sol en virtud del movimiento diurno describe un círculo perpendicular al eje del mundo; luego la posición que ha de tener la varilla, para encontrarse en la intersección de todos los planos horarios, es la que corresponde á la dirección del eje del mundo.

Esto supuesto, sea XZ (*Fig. 99*) un plano horizontal y la

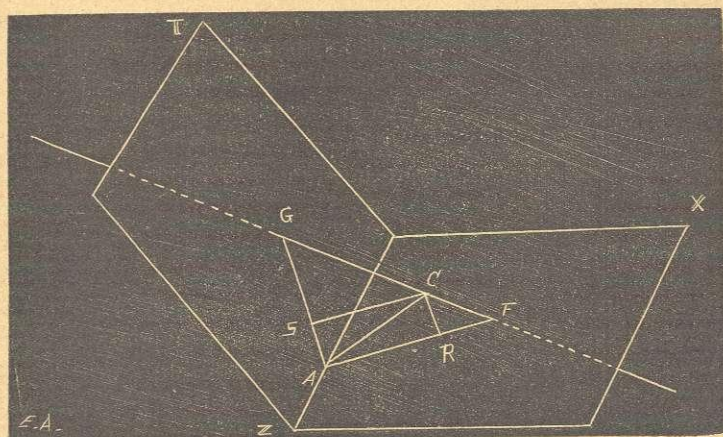


FIG. 99.—FUNDAMENTO DE LOS RELOJES DE SOL.

línea FA, en él situada, la meridiana. Si por un punto F de esta línea hacemos pasar una varilla FG que forme con la línea FA un ángulo GFA igual á la altura del polo en dicho punto, es claro que la varilla tendrá la dirección del eje del mundo. Observando ahora que todos los planos horarios pasan por el eje del mundo se comprende bien que el punto F estará en todos los horarios y será el centro ó polo del reloj

horizontal. Del mismo modo en el plano TZ perpendicular al XZ, el punto G, vértice del ángulo FGA, cuyo valor es igual también á la altura del polo, será el polo del reloj vertical.

Si ahora trazamos desde A una línea AC perpendicular á FG y bajamos desde C dos perpendiculares, CR al plano horizontal, y CS al vertical, obtendremos en el plano meridiano dos triángulos FCR y CSG, cuyos planos son respectivamente perpendiculares á los XZ y TZ. Dedúcese de los dos mencionados triángulos que, si el plano del reloj es perfectamente horizontal ó vertical, el *gnomon* ha de colocarse en dichos planos de tal manera que forme con ellos un ángulo igual á la altura del polo: de este modo se encontrará en la intersección común de todos los planos horarios. Cualquiera

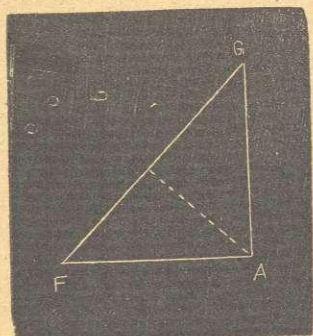


FIG. 100.—FUNDAMENTO DE LOS RELOJES DE SOL.

de los triángulos obtenidos se llama *fundamental*; uno de sus ángulos es recto, otro igual á la altura del polo, y el tercero igual al complemento de la altura del polo, ó sea, igual á la altura del ecuador sobre el horizonte. Representamos estos triángulos en la figura 100.

Con las nociones dadas se comprende bien que toda la teoría de los relojes de Sol se reduce: 1.º, á trazar sobre un plano varias líneas que representen la intersección de los planos horarios con el plano en

que están trazadas las líneas, que por esta razón se llaman horarias; 2.º, á colocar sobre el plano en que se encuentran las líneas horarias un *gnomon*, cuya dirección sea la del eje del mundo, á fin de que su sombra caiga sobre dichas líneas y marque las horas.

125. CONSTRUCCIÓN DEL RELOJ ECUATORIAL.—Sobre un plano paralelo al ecuador y con radio arbitrario se describe una circunferencia, la cual se dividirá en cuatro cuadrantes por dos líneas que se corten en ángulo recto. Una de ellas se trazará de modo que represente en el plano del reloj la

intersección del meridiano con el ecuador; será por consiguiente la línea de las 12 (*Fig. 101*). La otra línea perpendicular á la de las 12 será la de las 6. Los dos cuadrantes de la parte inferior, comprendidos entre ambas líneas se dividirán en 6 partes iguales. Las líneas que separan estas partes marcan las horas entre las 6 y las 12: las del cuadrante occidental las de la mañana, las del oriental las de la tarde. Si se desean más horas, se prolongan las líneas de las anteriores, como se indica en la figura.

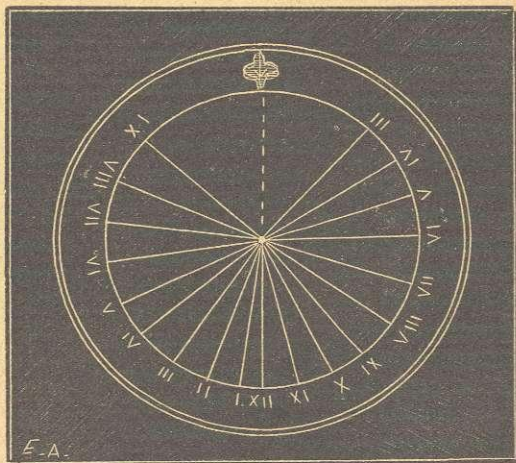


FIG. 101. — RELOJ ECUATORIAL.

Para colocar el gnomon no hay más que poner una varilla en el centro del círculo y que sea perpendicular al plano del reloj. La varilla, así colocada, se encuentra en la dirección del eje del mundo, por ser el plano del reloj paralelo al ecuador.

126. CONSTRUCCIÓN DEL RELOJ POLAR. — Sobre un plano, que forme con el horizonte un ángulo igual á la altura del polo y paralelo al plano horario que marca la hora 6.^a, se tiran dos rectas indefinidas y perpendiculares entre sí MA y AS (*Fig. 102*). MA ha de representar en el plano del reloj la intersección del plano meridiano con el plano de la hora 6.^a. Dicha línea, así trazada, marcará la hora 12. Se toma sobre esta línea una magnitud arbitraria AM: con el radio MA y á partir de M se describe un cuadrante CA, que se divide en 6 partes iguales. Trazando radios por las divisiones hechas y prolongándolos hasta encontrar la línea AS, los puntos en

que la encuentren marcan las horas 1, 2 etc., de la tarde; no pudiendo marcarse la hora 6, por ser el plano del reloj paralelo al de la hora 6.^a. Por esta razón se traza un radio por medio de la última división del cuadrante y se tienen

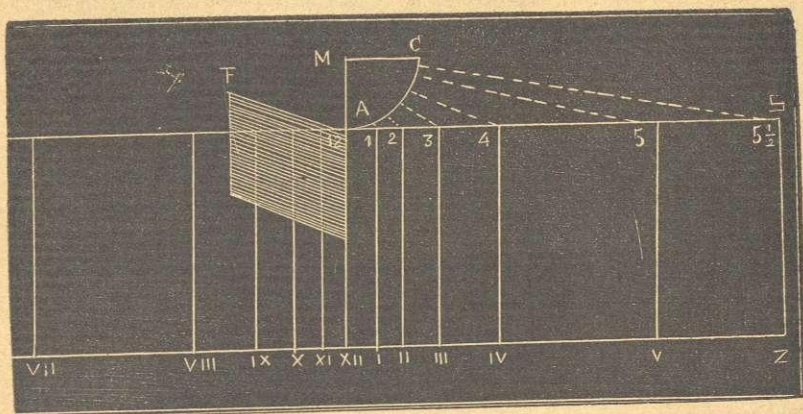


FIG. 102.—RELOJ POLAR.

las 5 1/2. Para marcar las horas de la mañana se trasladan al otro lado de la línea de las 12 las divisiones ya hechas, y se tendrán las horas desde las 6 1/2. En la figura no se ha trazado más que desde la hora 7.^a

Las líneas que por los puntos marcados en la RS se tracen paralelamente á la línea de las 12 en el plano del reloj, serán las líneas horarias.

Para colocar el gnomon se levanta por la línea de las 12 un rectángulo perpendicular al plano del reloj, y cuya altura AF sea igual á AM. El borde superior de este rectángulo, paralelo al plano del reloj, es el gnomon pedido. Se encuentra en la dirección del eje del mundo, porque, siendo paralelo al plano del reloj, es, como este, perpendicular al ecuador.

127. CONSTRUCCIÓN DEL RELOJ MERIDIANO.—Sobre un plano colocado en el meridiano ó paralelo á él se trazan dos

rectas CA y RS (*Fig. 103*), perpendiculares entre sí, de tal manera que la RS ó su paralela TX forme con el horizonte

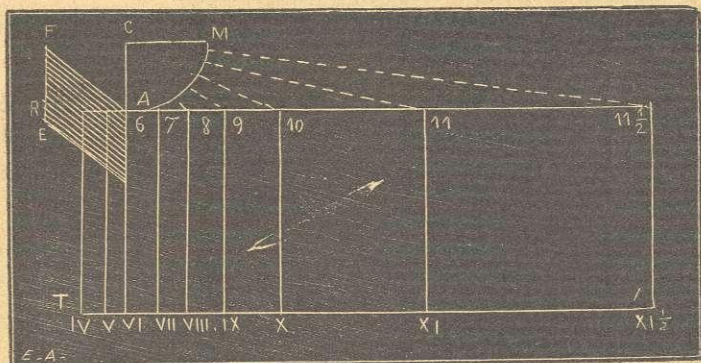


FIG. 103.—RELOJ MERIDIANO.

un ángulo igual al complemento de la altura del polo. Con esta disposición se consigue que RS represente la intersección del ecuador con el meridiano y CA la intersección del plano de la hora 6.^a con el mismo meridiano: la línea CA será por consiguiente la línea de las 6. Se describe el cuadrante MA; se marcan sobre la RS los puntos 7, 8..... 11 $\frac{1}{2}$ (1); se trazan las líneas horarias y se levanta el gnomon, como en la construcción del reloj polar. El borde superior FE del rectángulo AF está en la dirección del eje del mundo, porque estando en el plano de la hora 6.^a y siendo perpendicular á la RS, lo es también al plano del ecuador (2).

128. CONSTRUCCIÓN DEL RELOJ HORIZONTAL.—Sobre un plano perfectamente horizontal se tiran dos rectas OAM y

(1) No se puede marcar la hora 12, porque el plano está en el meridiano.

(2) El reloj, cuya construcción hemos indicado, lo suponemos en el lado del plano meridiano que mira al E.

RS perpendiculares entre sí (Fig. 104). La recta AM ha de representar la intersección del meridiano con el plano horizontal, ó lo

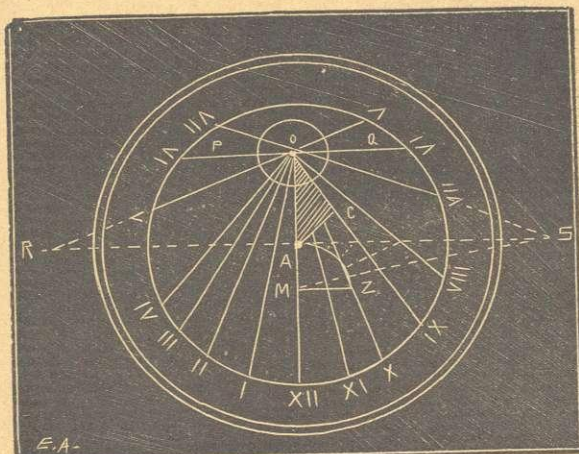


FIG. 104.—RELOJ HORIZONTAL.

que es igual, ha de ser la meridiana, para que así la RS represente la intersección del ecuador con el plano horizontal. Desde A y sobre AO se forma el triángulo fundamental OAC rectángulo en C, el ángulo COA igual á la altura del polo, y el CAO igual á la altura del ecuador. Sobre la línea OA se toma AM igual á AC, y con el radio MA se describe desde M el cuadrante AZ. Se divide este cuadrante en seis partes iguales y se trazan radios por las divisiones hechas hasta encontrar la línea RS. Así se obtienen los puntos horarios desde las 12 hasta las 7 de la mañana. Marcando desde A hácia R los puntos simétricos de los anteriores se obtienen hasta las 5 de la tarde. Por el punto O, polo del reloj, se traza la línea PQ, paralela á RS, y se obtienen las 6 de la mañana y las 6 de la tarde. Hecho esto, se tiran líneas desde O, pasando por los puntos horarios, y se tienen las líneas horarias. Si se desean más horas de la mañana y de la tarde no hay más que prolongar las anteriores. Así, prolongando la de las 7 de la mañana, queda trazada la de las 7 de la tarde, y prolongando la de las 5 de la tarde, la de las 5 de la mañana.

Colocando el triángulo CAO perpendicular sobre el plano del reloj, el gnomon está dado por el borde superior CO, el cual se encuentra en la dirección del eje del mundo, por formar con la meridiana OA un ángulo igual á la altura del

horizontal, ó lo que es igual, ha de ser la meridiana, para que así la RS represente la intersección del ecuador con el plano horizontal. Desde A y sobre AO se forma el triángulo fundamental OAC rectángulo en C, el ángulo COA

polo. La figura 105 representa un reloj horizontal montado.

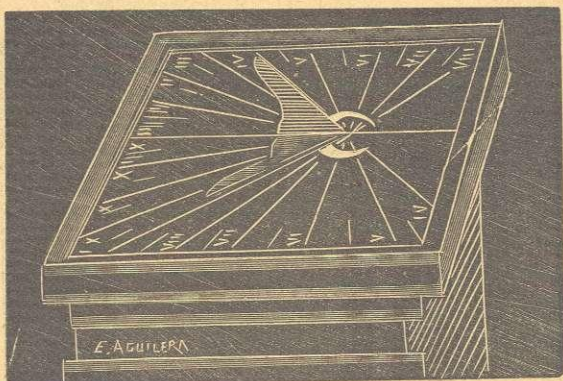


FIG. 105.—RELOJ HORIZONTAL.

129. CONSTRUCCIÓN DEL RELOJ VERTICAL.—Cuando se desea construir un reloj de Sol sobre un muro levantado á plomo sobre el terreno, lo que primeramente ha de buscarse es la dirección del muro. Puede éste estar en el plano meridiano, como MN (Fig. 106); puede mirar directamente al Mediodía ó al Norte, como PL, y puede mirar en fin á otro punto cualquiera, como AB, HF.

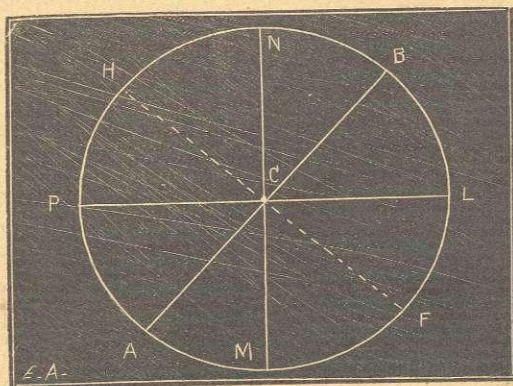


FIG. 106.—POSICIONES DE LOS MUROS.

En el primer caso se desea construir un reloj meridiano; en el segundo un reloj vertical sin declinación; en

el tercero un reloj vertical declinante. Sabido como se construye el reloj meridiano, indiquemos ligeramente cómo pueden construirse los otros dos.

ahora desde este punto líneas, que encuentren los puntos horarios de la recta HO, se tendrán las líneas horarias. Con esto no queda más que poner las 12 en el punto A; colocar las horas de la mañana hacia el O., ó sea, hacia el punto H, y hacia el E, ó punto O de la figura, las de la tarde, para que resulte construido el reloj.

Para que el gnomon esté en la dirección del eje del mundo, se traza desde F una línea FL perpendicular á HO. En

el punto L se coloca una varilla de hierro perpendicular al plano del reloj é igual á FL. Otra varilla de hierro que una el extremo superior de la anterior con el polo del reloj dá la dirección del eje del mundo y por consiguiente del gnomon (1). La figura 109 representa uno de estos relojes.

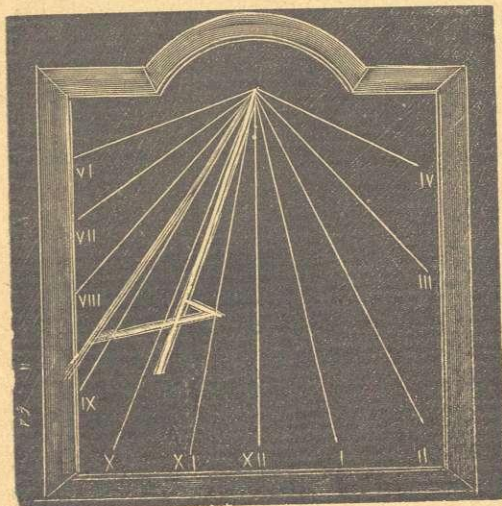


FIG. 109.—RELOJ VERTICAL DECLINANTE.

130. ADVERTENCIAS SOBRE LOS RELOJES DE SOL.—1.^a Los

relojes ecuatorial, polar, meridiano y horizontal pueden hacerse portátiles y servirse por consiguiente de ellos en cualquier punto.

2.^a El ecuatorial suele construirse con dos superficies; una llamada superior que mira al N. y que sirve durante la

(1) Puede también construirse este reloj, disponiendo cerca del muro un reloj horizontal: continuando hasta el muro las líneas horarias del horizontal, se tendrán en él los puntos horarios, y continuando el gnomon hasta cortar el muro en un punto, se tendrá el polo y la dirección del gnomon del reloj vertical.

primavera y el verano; la otra, que se denomina inferior, sirve para el otoño y el invierno. También el polar y el meridiano suelen tener dos superficies, aunque con distinto uso que las del ecuatorial.

3.^a Pueden darse demostraciones matemáticas de todo lo consignado, pero bastan los fundamentos indicados para que se comprenda bien la razón de las construcciones hechas.

131. MERIDIANA DE TIEMPO MEDIO.—El mediodía medio puede obtenerse también directamente por medio de los relojes de Sol. Se comprende bien que con la ayuda de un reloj, que marque con exactitud el tiempo medio, se puede señalar sobre el plano del reloj solar el punto de dicho plano en que á mediodía medio cae el extremo de la sombra del gnomon (1). Uniendo al fin del año estos puntos se obtiene una línea curva que se asemeja á un 8 un poco alargado (*Figura 110*). La curva, así obtenida, se llama *meridiana de tiempo medio*.

Es evidente que, dada la forma de esta meridiana, el extremo de la sombra del gnomon caerá sobre ella dos veces cada día. Para saber cuál es la que señala el mediodía medio, se colocan á lo largo de dicha meridiana los nombres de los meses, como indica la figura. También suele dividirse en cuatro partes correspondien-

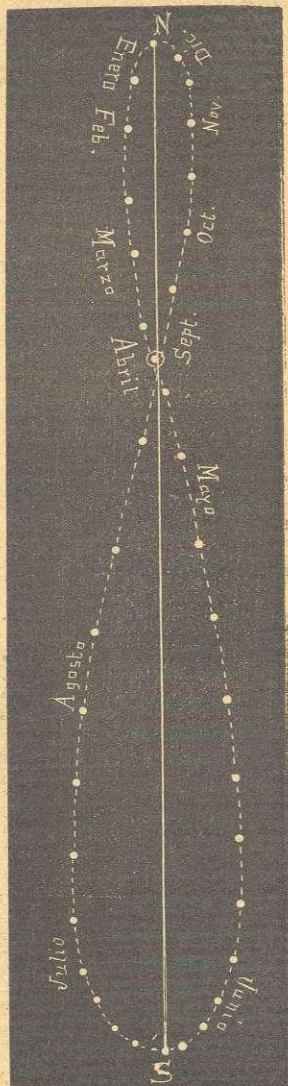


FIG. 110.—MERIDIANA DE TIEMPO MEDIO.

(1) Para más exactitud suele adaptarse al extremo del gnomon una placa con un agujero en su centro. Así es más fácil marcar en el plano del reloj el punto que corresponde al mediodía medio.

tes á las cuatro estaciones, aplicando á cada una un color diferente: verde á la parte que corresponde á la primavera; rojo á la del verano; amarillo á la del otoño, y negro á la del invierno (1).

ARTICULO IV.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA RELATIVO Á LA ROTACIÓN DE LA ESFERA CELESTE.

132. HIPÓTESIS DE LA ROTACIÓN DE LA ESFERA CELESTE É INMOVILIDAD DE LA TIERRA.—La primera idea que ocurre al observar el movimiento diurno de los astros es, como ya hemos dicho en otro lugar, que dicha esfera gira alrededor de la Tierra inmóvil. Con esta hipótesis las apariencias del movimiento diurno parece que quedan salvadas y explicadas, puesto que no se hace más que dar realidad en la Naturaleza á un fenómeno tal como á primera vista es percibido por los sentidos.

133. HIPÓTESIS DE LA ROTACIÓN DE LA TIERRA, É INMOVILIDAD DE LA ESFERA CELESTE.—También se salvan y explican las apariencias del movimiento diurno, suponiendo que la esfera celeste esté inmóvil y que la Tierra gire sobre sí misma en un día sidéreo, y en sentido contrario al del movimiento diurno de los astros, en suponer lo cual no hay inconveniente, pues, como decíamos en el núm. 8, la Tierra está aislada en el espacio. Para comprender bien esta afirmación obsérvese la figura 111. E es una estrella. Si la Tie-

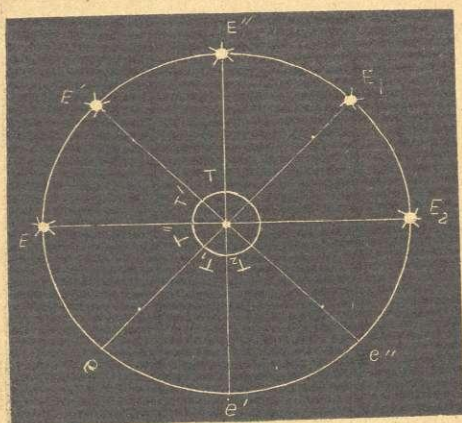


FIG. 111.—DOS EXPLICACIONES DEL MOVIMIENTO DIURNO.

mación obsérvese la figura 111. E es una estrella. Si la Tie-

(1) Delaunay.—*Cours élémentaire d'Astronomie*, pag. 356.

rra T se supone fija, la estrella E recorrerá su trayectoria, ocupando sucesivamente las posiciones E', E'', E₁ y E₂, desapareciendo por último debajo del horizonte. Si ahora suponemos que la estrella está fija en E y que la Tierra gira en sentido contrario, las apariencias resultarán las mismas. Un observador que se encuentre en T, tendrá por horizonte EE₁; la estrella estará á su izquierda apareciendo sobre éste. Cuando en virtud del movimiento de la Tierra esté en T' su horizonte será eE₁ y su zenith E', habiéndose elevado la estrella sobre el horizonte el arco eE. Cuando esté en T'', su horizonte será e'E'', y la estrella ocupará su zenith. A partir de este punto, la estrella parecerá descender hasta que, cuando el observador se encuentre en T₂, la estrella se ocultará por su derecha debajo del horizonte.

Sucede con este movimiento de la Tierra lo que en pequeña escala se observa, cuando se viaja en un tren: los movimientos de éste se refieren á los objetos exteriores, los cuales se mueven aparentemente en sentido contrario al movimiento verdadero del tren. Así, los postes del telégrafo, los viñedos y los olivares parecen huir en precipitada fuga y en dirección opuesta á la del viajero. La ilusión es mucho mayor, cuando se viaja en un buque, porque el movimiento de este es menos perceptible.

134. PROBABILIDAD DE QUE LA TIERRA SEA LA QUE SE MUEVA Y NO LA ESFERA CELESTE. — Recordando ahora que las estrellas describen en virtud del movimiento diurno curvas paralelas al ecuador y cuyo centro está sobre el eje del mundo; que todas emplean el mismo tiempo en recorrer sus curvas, cualesquiera que sean las dimensiones de estas, y que según la ley de Newton los cuerpos giran en virtud de la atracción que otros cuerpos ejercen sobre ellos en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias, se comprende con facilidad que la hipótesis del movimiento de la esfera celeste alrededor de la Tierra no puede subsistir: 1.º, porque no existen cuerpos á lo largo del eje del mundo que ejerzan su atracción sobre las estrellas; 2.º, porque las estrellas cuyas curvas estuviesen más próximas

al ecuador habrían de moverse con una velocidad incalculable, mientras que el movimiento de las más próximas al polo sería sumamente lento, y 3.º, porque, siendo la Tierra mucho más pequeña que los principales planetas, que el Sol y que las estrellas, es imposible que estos cuerpos sean atraídos por ella.

Las consideraciones expuestas nos obligan á desechar la dicha hipótesis del movimiento de la esfera celeste, al par que nos inducen á admitir la rotación de la Tierra sobre su eje, con lo cual todo se explica satisfactoriamente y de la manera más sencilla. Esta verdad quedará plenamente confirmada con pruebas directas, cuando estudiemos más adelante la Tierra.

CAPITULO V.

REPRESENTACIÓN DE LA ESFERA CELESTE.

Para completar el estudio de esta primera parte damos en este capítulo algunas nociones acerca de los medios que se emplean para representar la esfera celeste, así como también sobre los catálogos estelares, y efemérides astronómicas.

ARTICULO I.

GLOBOS Y MAPAS CELESTES.

135. GLOBOS CELESTES.—Como lo indica suficientemente su nombre, un *globo celeste* no es más que un globo de madera, de cartón ó de otra materia cualquiera sobre el cual se han representado las constelaciones con las principales estrellas que las constituyen. Así se consigue poder abarcar en una ojeada la distribución de las estrellas en la esfera celeste.

136. CONSTRUCCIÓN DE LOS GLOBOS CELESTES.—Para construir los globos celestes se emplean de ordinario las

coordenadas ecuatoriales, ascensión recta y declinación. El procedimiento es como sigue:

Sobre un globo de cartón $EPE'P'$ (*Fig. 112*) se traza un círculo máximo EE' , que lo divide en dos partes iguales, y el cual representará sobre el globo el ecuador celeste: P y P' serán los polos. Se marca un punto γ , con el objeto de que sirva de origen á las ascensiones rectas.

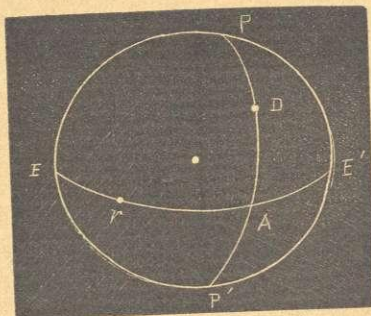


FIG. 112.—CONSTRUCCIÓN DEL GLOBO CELESTE (A).

Para representar las estrellas sobre el globo, así preparado, se toma sobre EE' , partiendo de γ , un arco γA igual á

la ascensión recta de una estrella cualquiera.

Es evidente, que trazando por los polos P y P' un círculo máximo PAP' , que pase por A y que sea perpendicular al ecuador, se obtendrá el máximo de ascensión sobre el cual se ha de representar la estrella, cuya ascensión recta se ha marcado. Tomando enseguida sobre dicho máximo una magnitud AD igual á la declinación de la misma estrella (1), el punto D representa sobre el globo la posición que tiene la estrella en la esfera celeste. Repitiendo la construcción anterior, cuantas veces sea necesario, quedarán representadas sobre el globo las estrellas que se deseen representar.

Á continuación (*Fig. 113*) exponemos el procedimiento que, según Delaunay, empleó Hiparco para construir su globo celeste, que, como sabemos, es el primero que se ha construido.

Midió la distancia angular de dos estrellas y las representó en el globo por dos puntos E y E' de tal manera marcados que el arco EE' fuese igual á la distancia angular medida. Para representar la tercera estrella midió la distancia angular, entre ella y E , con una abertura de compás igual á

(1) Suponemos que la declinación es boreal; si fuese austral habría de tomarse hácia P' .

la dicha distancia describió desde E, como polo, un arco de círculo máximo RR': medida después la distancia de la tercera estrella á E' y trazando un arco rr' desde E'; como polo, encontró el punto p sobre el cual había de representarse dicha estrella tercera. En efecto; la estrella en cuestión había de representarse sobre el arco RR', por ser la distancia angular de este arco á E igual á la distancia angular de dicha estrella á la primera; por una razón semejante había de estar sobre rr'; luego en p, ó sea en el punto de encuentro de los dos arcos RR' y rr'. Continuando del mismo modo pudo representar sobre el globo las principales estrellas que él podía observar.

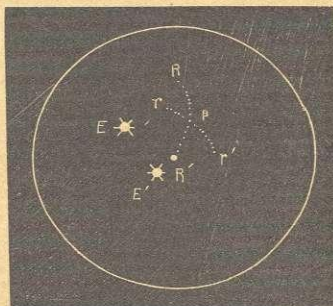


FIG. 113.—CONSTRUCCIÓN DEL GLOBO CELESTE. (B)

137. VENTAJAS É INCONVENIENTES DE LOS GLOBOS CELESTES.—Son los globos celestes muy útiles, porque permiten observar con gran facilidad el conjunto de la esfera celeste, y estudiar el cambio de posición de los astros del sistema solar al través de las constelaciones. En cambio, cuando tienen dimensiones algo considerables son pesados, incómodos y ofrecen dificultades, para ser trasladados de un lugar á otro. Además, ha de tenerse presente que las constelaciones vistas sobre un globo no se presentan á la vista del observador, como vistas sobre la esfera celeste. Se comprenderá bien esta afirmación si se recuerda que un observador colocado en la Tierra, se encuentra siempre en el centro de la esfera celeste, viendo por consiguiente las estrellas en el interior de dicha esfera. Por la inversa, en los globos celestes el observador se encuentra en el exterior, y de aquí que las constelaciones se le presenten invertidas.

138. MAPAS CELESTES: SUS DIVERSAS CLASES.—Se llama *mapa ó carta celeste* la representación de toda ó parte de la

esfera celeste en una superficie plana. Pueden dividirse en *generales* y *parciales*. Los primeros, llamados *planisferios celestes* son los que representan toda la esfera; los segundos representan una zona mayor ó menor de la misma esfera.

139. CONSTRUCCIÓN DE LOS MAPAS CELESTES: PROYECCIONES.—Sabido es que una superficie esférica no es completamente desarrollable en un plano; esto es, una esfera no puede desarrollarse en un plano, sin que se deformen algunas de sus partes. Por esta razón se han excogitado varios procedimientos, que disminuyan, cuanto sea posible, las mencionadas deformaciones. Estos procedimientos pueden dividirse en dos grupos: *proyecciones perspectivas*, que también se llaman *inmediatas*, y *proyecciones por desarrollo*. Empléanse *principalmente* las primeras, cuando se trata de representar toda la superficie esférica, ó un hemisferio; las segundas, cuando se desea representar una parte de la esfera.

A) *Proyección perspectiva*.—En esta proyección los hemisferios se representan, como se verían desde determinado punto de vista. Puede ser *ortográfica*, *estereográfica* y *gnomónica* ó *central*.

En la *ortográfica* se representa cada hemisferio sobre un plano diametral, y tal como se vería desde una distancia ca-

si infinita, pudiendo ser de tres clases, que toman su nombre del plano de proyección; *ecuatorial* del ecuador; *meridional* del meridiano, y *horizontal* del horizonte.

Se comprende con facilidad que en esta proyección las partes centrales del hemisferio que se proyecta no sufren deformación alguna; en cambio las laterales que-

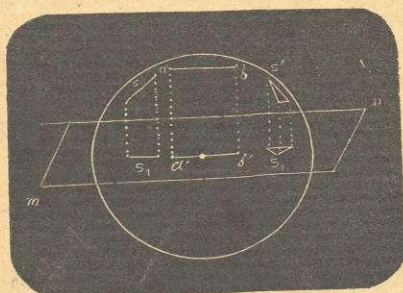


FIG. 114.
PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA.

dan muy desfiguradas. Así, la parte *ab* (Fig. 114) se representa tal como es en su proyección *a'b'*; mientras que las partes

s y s', que están representadas por sus proyecciones S, S, se deforman, quedando tanto más desfiguradas, cuanto más próximas se encuentren á los lados del hemisferio que se proyecta.

En la *estereográfica* cada hemisferio se representa sobre un plano diametral y tal como lo vería un observador, colocando su ojo en un extremo del diámetro perpendicular á dicho plano. Así lo patentiza la figura 115. MNS es el plano diametral; OB el diámetro perpendicular á dicho plano, y O el ojo del observador, que divisa sobre el plano las perspectivas de dos partes del hemisferio que se proyecta.

Esta proyección puede ser también *ecuatorial*, *meridional* y *horizontal*, por la misma razón que la proyección ortográfica.

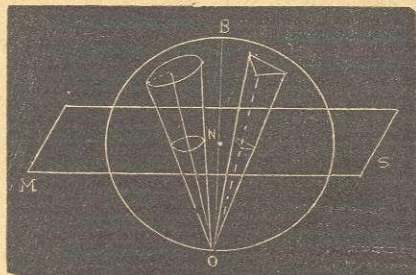


FIG. 115.

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA.

En la *gnomónica* ó *central* el ojo del observador se supone en el centro de la esfera y el plano de proyección es un plano tangente. Se aplica principalmente á la construcción de los relojes de Sol, que ya hemos explicado. Cuando por medio de esta proyección se representa la esfera celeste, las constelaciones se presentan á la vista del observador, ofreciéndole el mismo aspecto que dicha esfera.

B) *Proyección por desarrollo*.—En esta proyección se considera la esfera, como si fuese una superficie capaz de ser desarrollada, al menos en la extensión que se desea representar. Así se consigue que las deformaciones, consiguientes á la esfericidad, se atenúen considerablemente. Consiste el procedimiento más general, para obtener este desarrollo, en circunscribir á la esfera ó un cilindro ó un cono, tangentes á la misma. De aquí que las principales especies de esta proyección sean, por desarrollo *cilíndrico* y por desarrollo *cónico*. Algunas modificaciones han sido introducidas en este procedimiento general por Mercator,

Flamsteed, Casini y otros; siempre con el fin de disminuir, en cuanto sea posible, las deformaciones, que necesariamente ha de experimentar la superficie esférica, al desarrollarse.

Supuestas las anteriores nociones, solo queda hacerse cargo de cómo se construye un mapa según las distintas clases de proyecciones. Ahora bien; como del mismo modo se construye un mapa celeste que un mapa geográfico, haremos su explicación, cuando más adelante tratemos de estos últimos.

Cualquiera que sea la proyección empleada al construirlos, una colección de mapas celestes recibe el nombre de *Atlas celeste*. Entre los modernos pueden consultarse con fruto los siguientes: el de Houzeau, para las estrellas visibles á la simple vista en toda la esfera celeste; el de Argelander y el de Heis, para las del hemisferio boreal, y el de Gould, para las del austral. Para las estrellas telescópicas el de Harding, el de Chacornac, etc., etc.

140. VENTAJAS É INCONVENIENTES DE LOS MAPAS CELESTES.—Sobre los mapas celestes pueden estudiarse, como sobre los globos, la distribución de las estrellas en la esfera celeste y los cambios de posición de los astros del sistema solar al través de las constelaciones; dichos mapas se prestan además á ser trasladados con gran facilidad de un punto á otro. En cambio, como queda dicho en el número anterior, tienen el gran inconveniente de presentar deformadas algunas partes de la esfera.

Por lo tanto, para hacerse cargo con exactitud de la forma de las constelaciones; de las estrellas que las constituyen, etc., han de estudiarse primeramente en los globos y mapas, y después han de comprobarse con gran cuidado los datos adquiridos, observando directamente la esfera celeste.

ARTÍCULO II.

CATÁLOGOS ESTELARES Y EFEMÉRIDES ASTRONÓMICAS.

141. CATÁLOGOS ESTELARES.—Son los *catálogos estelares* unas listas de estrellas en las cuales se anotan los ele-

mentos necesarios para que queden determinadas con toda exactitud y claridad. De aquí, que los elementos esenciales en todo catálogo sean: el nombre de la estrella, expresado por un nombre particular, por una letra ó por un número, y á su lado en columnas especiales la ascensión recta y la declinación. Suelen añadir los catálogos modernos la magnitud, el brillo y otros varios datos que son necesarios para obtener en un momento dado la posición exacta de cada estrella.

Se comprenderá la gran importancia de estos catálogos, si se tiene en cuenta que con su ayuda pueden ser notadas las variaciones que ocurran en la esfera celeste en el transcurso del tiempo, así como también comprobar el descubrimiento de nuevos planetas telescópicos. Por esta razón se forman hoy catálogos de los planetas, de las nebulosas, de los cometas, etc.

142. PRINCIPALES CATÁLOGOS ESTELARES.—Los catálogos antiguos fueron redactados, observando las estrellas á la simple vista. Merecen citarse entre ellos los siguientes: el primero que ha sido redactado, ó sea el de Hiparco, el cual contenía 1.080 estrellas, de las cuales insertó Ptolomeo en su Almagesto 1.026; el del príncipe de Mongolia Ulugh Beig con 1.020 posiciones de estrellas; el de Tycho-Brahe, editado por Kepler con 1.000 estrellas, y el de Hevelio, que comprendía 3.000 estrellas, de las cuales sólo pudo medir 1.464: fué publicado después de su muerte.

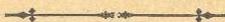
Inició Flamsteed la publicación de los catálogos modernos, que, además de las estrellas visibles á la simple vista, comprenden las telescópicas. Siendo muy numerosos citarémos solamente algunos: el de Lalande con 47.390 estrellas; los de Bessel que enumeran unas 70.000, comprendidas entre los paralelos de 15° de declinación S. y 45° N; el de Argelander con 23.250 entre los paralelos de 45° y 80° N. Son también dignos de notarse el del P. Piazzzi, el de Carrington, el de Lacaille, el llamado *catálogo normal* por M. Auwers; el de Maedler, etc., etc.

143. EFEMÉRIDES ASTRONÓMICAS.—Se llaman *efeméridas*

des astronómicas unos libros que se publican anualmente en las principales Naciones y que tienen por objeto proporcionar á los Astrónomos, Marinos y Geógrafos un número considerable de datos, que les pueden hacer falta en el transcurso del año y que ellos no podrían calcular en cada momento, al menos con facilidad. Dichos libros están acompañados de ciertas explicaciones, que facilitan su uso. En España tenemos *El Almanaque Náutico*, que hemos citado varias veces; en Francia *Connaissance des Temps* (Paris); en Alemania *Berliner Astronomisches Jahrbuch* (Berlin); en Inglaterra *The Nautical Almanac*, etc. etc.



NOCIONES DE ASTRONOMIA



SEGUNDA PARTE

HELIOLOGIA



Estudiada de un modo general la esfera celeste en la Uranología, pasamos en esta segunda parte ó Helio-
logia, al estudio de los astros, que constituyen el sistema solar. Para más claridad y en conformidad con lo que decíamos en el número 66, la dividimos en tres Secciones: *Helio-
logia propiamente dicha* ó estudio del Sol; *Plan-
etología* ó estudio de los Planetas con sus Satélites; y *Cometología* ó estudio de los Cometas y Meteoros Cós-
micos. Al llegar á este punto nos permitimos llamar la atención del lector, á fin de que, al recorrer las siguien-
tes páginas, admire la grandiosidad que encierra la Creación y entone himnos y cánticos de amor y de haci-
miento de gracias á Dios nuestro Señor, por haberse dignado de crear tanta maravilla.

SECCION PRIMERA



HELIOLOGIA PROPIAMENTE DICHA

Cómenzamos el estudio del sistema solar por el Sol, por ser este astro el principal del sistema, y el que en virtud de sus radiaciones lumínicas, térmicas, químicas, eléctricas y magnéticas lleva la luz, el calor y hasta cierto punto la vida á los demás astros del sistema.

CAPÍTULO I

NOCIONES GENERALES

144. ASPECTO DEL SOL Á LA SIMPLE VISTA.—Preséntase el Sol á la simple vista (1) como un disco luminoso, de forma circular y de color blanco que tira á amarillo. El diámetro

(1) La luz del Sol es demasiado intensa, para que podamos mirarlo directamenté. Se observará, pues, empleando cristales de color ó ahumados. También puede observarse al través de un agujerito, practicado con una aguja muy fina en un naípe ó tarjeta. Los anteojos astronómicos tienen un ocular helioscópico, ó sea con un cristal de color.

aparente de este disco subtiende un ángulo, que oscila próximamente entre $32' 36''$ y $31' 32''$. Cuando el Sol se encuentra próximo al horizonte, su disco experimenta algunas deformaciones aparentes, debidas á la refracción. Si se recuerda que cuando un astro está en el horizonte el valor de la refracción es de $33' 47''$, 9, (núm. 79), se comprenderá por qué el Sol se vé, aún después de haber desaparecido debajo del horizonte.

145. ASPECTO DEL SOL VISTO CON LOS ANTEOJOS, TELESCOPIOS Y ESPECTROSCOPIOS.—Observando directamente el Sol con un anteojo de mediano poder óptico, su superficie se presenta tersa, lisa y con brillo uniforme, excepción hecha de algunos puntos, donde se notan manchas oscuras. Si por medio de un aparato de proyección se observa el Sol en una cámara oscura, su superficie se manifiesta irregular y ondulada, como la del mar agitado por una tempestad, ó la de un metal en estado de fusión y sometido á una elevadísima temperatura.

Si en la observación directa se emplean instrumentos de gran potencia, pueden percibirse las *manchas* con formas irregulares y variables; las *fáculas*, porciones más brillantes que el resto de la superficie; los *granos*, puntos brillantes de forma ovalada y esférica; los *poros* ó *lúculos*, espacios muy oscuros que separan unos granos de otros; en una palabra, una superficie irregular y ondulada, agitada á veces por *erupciones* violentas de materias en fusión, ante las cuales son nada los más considerables de los volcanes terrestres.

Por último, si se emplea el espectroscopio, pueden verse las distintas envoltentes del globo solar; contemplar sus grandiosos fenómenos; percibir las *protuberancias*, erupciones de hidrógeno inflamado; estudiar sus espectros; analizar sus componentes químicos, etc., etc.

CAPÍTULO II

MOVIMIENTOS DEL SOL

Conocido de un modo general el astro central de nuestro sistema, pasamos á estudiarlo en particular. En el presente capítulo comprendemos todo lo que dice relación á sus movimientos, así aparentes como verdaderos, sobre la esfera celeste.

ARTÍCULO I.

MOVIMIENTOS APARENTES DEL SOL SOBRE LA ESFERA CELESTE.

146. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS APARENTES DEL SOL.—Como ya indicábamos en el número 105 el Sol participa del movimiento diurno de la esfera celeste, teniendo á su vez otro en sentido opuesto: llámase el primero *movimiento diurno del Sol*; el segundo *movimiento ánuo ó elíptico*.

§ I.—*Movimiento diurno del sol.*

147. ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE EL MOVIMIENTO DIURNO DE LAS ESTRELLAS Y EL DEL SOL.—Conviene el movimiento diurno del Sol con el de las estrellas, en que, como estas, sale por el Oriente, asciende, pasa por el meridiano, descende y se oculta por último por el Occidente. Difiere en que no sale ni se oculta todos los días por el mismo punto;

en que su trayectoria no es la misma en todas las épocas del año; en que no alcanza al pasar por el meridiano cada día la misma altura sobre el horizonte, y finalmente en que se retrasa su paso por el meridiano unos 4^m próximamente con relación á las estrellas.

La altura del Sol, al pasar este astro por el meridiano, se obtiene por un cálculo muy sencillo. Se toma el complemento de la altura del polo en el lugar de la observación; se resta de él la declinación del Sol en el día dado, si es austral, ó se le suma, si es boreal, y el resultado obtenido es la altura aparente del Sol. Para obtener la verdadera se corrige la anterior de los efectos de la refracción.

Ejemplo. —¿A que altura se encuentra el Sol sobre el horizonte en Sevilla á mediodía del 15 de Abril de 1900?—Siendo la altura del polo en Sevilla 37° 22' 38", su complemento será 52° 37' 22"; luego

Complemento de la altura del polo en Sevilla	52° 37' 22"
Declinación del Sol (15 Abril 1900, Efemérides) +	9° 42' 36"
<hr/>	
Altura aparente del Sol	62° 19' 58"
Corrección de refracción	0° 0' 30"
<hr/>	
Altura verdadera	62° 19' 28"

Si la declinación no estuviese referida al centro de la Tierra se reduciría, corrigiendo el efecto de la paralage.

148. ORTO Y OCASO DEL SOL: CORRECCIONES.—En un día dado podrá ser conveniente y aún necesario á un observador conocer con exactitud la hora del orto y ocaso del Sol en el lugar en que se encuentra. Obtienen estos datos con la mayor facilidad, sirviéndose de las Efemérides francesas. *El Conocimiento de los Tiempos* da la hora exacta del orto y ocaso del Sol en París para todos los días del año y el Anuario (*Bureau des Longitudes*) una *Tabla* con las correcciones que han de hacerse para todos los lugares de la Tierra comprendidos entre 0° y 60° de latitud N.

Esta tabla está calculada de diez en diez días; por lo

tanto, para una fecha intermedia, hay necesidad de calcular la parte proporcional.

A continuación damos un extracto de dicha tabla, que comprende las latitudes de España y Portugal. Cuando se trata del orto del Sol, el signo + indica que la corrección es *aditiva*; el — que es *subtractiva*. Cuando se trata del ocaso la corrección es la *misma*, pero con el signo cambiado.

CORRECCIONES PARA LAS SALIDAS Y PUESTAS DEL SOL									
FECHAS	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°
Enero . . . 11	— 40 ^m	— 38 ^m	— 35 ^m	— 32 ^m	— 30 ^m	— 27 ^m	— 24 ^m	— 21 ^m	— 18 ^m
Febrero. . . 10	— 25	— 23	— 21	— 20	— 18	— 16	— 14	— 12	— 10
Marzo . . . 11	— 6	— 5	— 5	— 5	— 4	— 4	— 3	— 2	— 2
Abril. . . 10	+ 14	+ 13	+ 13	+ 12	+ 11	+ 10	+ 8	+ 7	+ 6
Mayo . . . 10	+ 33	+ 31	+ 29	+ 26	+ 24	+ 22	+ 19	+ 17	+ 14
Junio . . . 9	+ 45	+ 43	+ 40	+ 37	+ 34	+ 30	+ 27	+ 23	+ 20
Julio. . . . 9	+ 44	+ 41	+ 38	+ 35	+ 32	+ 29	+ 26	+ 22	+ 19
Agosto . . . 8	+ 30	+ 28	+ 26	+ 24	+ 22	+ 20	+ 17	+ 15	+ 13
Septiembre 7	+ 11	+ 10	+ 9	+ 9	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 5
Octubre. . . 7	— 9	— 8	— 8	— 7	— 6	— 6	— 5	— 5	— 4
Noviembre. 6	— 28	— 26	— 24	— 22	— 20	— 18	— 16	— 14	— 12
Diciembre. 6	— 42	— 39	— 37	— 34	— 31	— 28	— 25	— 22	— 19

Ejemplo.—Se piden las horas del orto y ocaso del Sol en Tarifa el día 9 de Junio de 1900. Siendo la latitud de Tarifa 35° 59' 53", puede considerarse en números redondos de 36°; por lo tanto,

Orto del Sol en París (9 Junio 1900, Efemérides)	3h 59m
Corrección con su signo	+ 0h 45m
Orto del Sol en Tarifa en dicho día.	4h 44m
Orto del Sol en París el mismo día (Efemérides)	7h 59m
Corrección con el signo cambiado	— 0h 45m
Ocaso del Sol en Tarifa en dicho día	7h 14m

§ II.—*Movimiento ánuo ó elíptico del Sol.*

149. DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO ÁNUO DEL SOL.—Sabemos ya que el Sol se retrasa cada día unos 4^m proxima-

mente con relación á las estrellas: esta afirmación puede comprobarse, observando antes del orto del Sol las estrellas que se encuentran próximas al horizonte. Supongamos que el día en que se comienza la observación está próxima al horizonte la constelación del Toro: se notará que cada día dicha constelación estará más elevada sobre el horizonte al acercarse el orto del Sol, hasta que á los tres meses se encontrará en el meridiano y á los seis desaparecerá por el Occidente, en el momento en que el Sol aparece por el Oriente. Como se comprende sin dificultad, á medida que la mencionada constelación se separa del Sol, otras ocupan sucesivamente sus inmediaciones. Si la observación se repite durante un año entero, marcando sobre un globo celeste las distintas posiciones del Sol con relación á las estrellas en el momento de su orto y uniendo después por una línea todos los puntos marcados, se obtiene sobre el globo un círculo máximo que forma con el ecuador del mismo un ángulo de $23^{\circ} 27'$ proximamente. El círculo máximo que hemos obtenido sobre el globo representa la trayectoria que el Sol ha seguido aparentemente sobre la esfera celeste en sentido opuesto al de la rotación de las estrellas: este círculo es la eclíptica (núm. 73).

Puede también emplearse el procedimiento siguiente. Se marcan sobre un globo ó mapa celeste las posiciones del Sol, al pasar por el meridiano, valiéndose de la ascensión recta y de la declinación de este astro. Al cabo de un año se unen por una línea los puntos marcados y se obtiene el mismo resultado que anteriormente.

Hemos de advertir que por estos procedimientos no está determinada la forma de la curva descrita por el Sol, sino su proyección sobre la esfera celeste, esto es, la intersección del plano de dicha curva con la esfera celeste.

150. MOVIMIENTOS DEL SOL EN ASCENSIÓN RECTA Y EN DECLINACIÓN.—A causa del movimiento ánuo del Sol la ascensión recta y la declinación de este astro varían constantemente. Para comprender bien esta afirmación obsérve-

se la figura 116. $E E'$ es el ecuador; $E_1 E_2$ la eclíptica; $P P'$ el eje del mundo, y $P_1 P_2$ el de la eclíptica.

Es evidente que el Sol se separa del punto γ (punto vernal) á medida que recorre la eclíptica, y por consiguiente que su ascensión recta aumenta constantemente de 0° á 360° .

La declinación también varía, pero del siguiente modo. Desde γ á E_2 (solsticio de Cancer) la declinación es boreal y crece de 0° á $23^\circ 27' 8''$ (oblicuidad de la eclíptica). Desde E_2 hasta el signo de *Libra* (punto autumnal) es también bo-

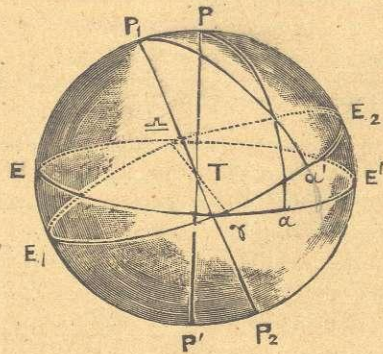


FIG. 116. — MOVIMIENTO DEL SOL EN ASCENSION RECTA EN DECLINACION Y EN LONGITUD.

real, pero decrece hasta hacerse nula en dicho signo. A partir de este punto es austral y crece hasta llegar el Sol á E_1 (solsticio de Capricornio), donde es también igual á $23^\circ 27' 8''$. Por último desde E_1 hasta que el Sol llega nuevamente á γ la declinación sigue siendo austral, pero decreciendo hasta hacerse nula en el punto γ .

La ascensión recta y la declinación del Sol pueden obtenerse en un momento dado por los procedimientos indicados en los números 82 y 86; pero es más fácil servirse de las Efemérides. El Almanaque Náutico da para cada día del año á 0^h de tiempo medio y á 0^h de tiempo verdadero dichas coordenadas, y además la variación horaria de cada una. El cálculo es muy semejante á los indicados, cuando hablábamos del tiempo.

Ejemplo.—Se pide la ascensión recta y la declinación del Sol en Sevilla el 15 de Junio de 1900 y á 4^h de tiempo medio.

La hora reducida en la citada fecha es $3^h 59^m 9^s, 8$, que expresada en decimales es $3^h, 98$ (aproximada). Se multiplica la hora reducida por la variación horaria bien de la ascensión recta, bien de la declinación y se tendrá la parte proporcional á la hora dada.

Así; $3^h, 98 \times 10^s, 386$, variación horaria para la ascensión recta el 15 de Junio, da por resultado $41^s, 33$, parte proporcional que se aumentará á la ascensión recta que dé el Almanaque para el citado 15 de Junio.

Tenemos, pues,

Ascensión recta del Sol el 15 de Junio (Efemérides).	5h 33m 27s, 24
Parte proporcional encontrada	0h 0m 41s, 33
Ascensión recta pedida	5h 34m 8s, 57

Del mismo modo; $3^h, 98 \times + 6''$, 59, variación horaria para la declinación el dicho día 15 de Junio, dá por resultado $+ 25''$, 62, parte proporcional que se sumará *algebraicamente* á la declinación que dé el Almanaque para el mismo día 15.

Por lo tanto,

Declinación del Sol el 15 de Junio (Efemérides)	. + 23° 18' 39'', 60
Parte proporcional encontrada . . . . .	. + 0° 0' 25'', 62
Declinación pedida . . . . .	. + 23° 19' 5'', 22

151. MOVIMIENTO DEL SOL EN LONGITUD.—Por las razones aducidas en el número anterior se comprende también sin gran esfuerzo que, al recorrer el Sol la eclíptica, $E_1 E_2$ (Fig. 116), aumenta constantemente su longitud, creciendo de 0° á 360° en el transcurso de un año. Sabemos (número 86) cómo puede obtenerse la longitud del Sol en un momento dado, pero hemos de advertir que el Almanaque Náutico dá el valor de esta coordenada para cada día, así como también el valor aparente de la latitud.

Este movimiento del Sol en longitud se llama *directo*. Por lo tanto, cuando un astro se mueve, aumentando su longitud, su movimiento es *directo*, y *retrógado* cuando se mueve en sentido opuesto, esto es, disminuyendo su longitud.

152. VELOCIDAD ANGULAR DEL SOL: SUS VARIACIONES.—Se llama *velocidad angular* del Sol el ángulo descrito en un día por el radio vector, que une el centro de la Tierra con el centro del Sol: el valor de este ángulo está dado por el arco de la eclíptica recorrido en un día por el Sol. Ahora bien; como determinar la longitud del Sol en un día dado, es determinar el arco de la eclíptica que el Sol ha recorrido

á partir del punto vernal, es claro que, determinando este arco en dos días consecutivos y á la misma hora, se puede deducir el valor del arco de la eclíptica recorrido en un día por el Sol, y por consiguiente su velocidad angular. Si estas observaciones se repiten durante un año se comprueba que la velocidad angular del Sol no es uniforme; antes bien, variable en las diversas estaciones, alcanzando su valor máximo (61' 10") á fin de Diciembre, y su mínimo (57' 17") á principios de Julio. No es necesario advertir que de Julio á Diciembre aumenta, y que de Diciembre á Julio disminuye.

153. VARIACIONES DEL DIÁMETRO APARENTE DEL SOL.— Hemos dicho en el número 144 que el diámetro aparente del Sol no es constante. Midiéndolo cada día en el transcurso de un año (1), se comprueba que alcanza su valor máximo, 32' 35", 26, hacia fin de Diciembre. A partir de este momento comienza á disminuir hasta principios de Julio en que es mínimo, 31' 30", 66. Desde esta fecha comienza de nuevo á aumentar hasta Diciembre (2).

154. FORMA ELÍPTICA DE LA CURVA APARENTE QUE EL SOL DESCRIBE EN SU MOVIMIENTO ÁNUO.— Al determinar (número 149) la curva aparente descrita por el Sol en virtud de su movimiento ánuo, indicábamos que no era realmente su curva lo que obteníamos, sino su proyección sobre la esfera celeste. Para encontrar con exactitud la forma de esta curva, recuérdese que el diámetro aparente de un astro es inversamente proporcional á su distancia á la Tierra (núm. 64), y que el diámetro aparente y la velocidad angular del Sol no son constantes; antes bien, aumentan y disminuyen uno y otro elemento en distintas épocas del año (núms. 152 y 153).

(1) Se obtiene fácilmente el valor del diámetro aparente del Sol, midiendo las alturas de los bordes superior é inferior de este astro y tomando su diferencia.

(2) Los valores asignados son los que dá el Almanaque Náutico para 1900.

Estas variaciones indican que la distancia del Sol á la Tierra varía, siendo máxima á principios de Julio, ó sea, cuando el diámetro aparente y la velocidad angular del Sol tienen su valor mínimo, y mínima, cuando estos elementos tienen su valor máximo, esto es, á fin de Diciembre.

Esto supuesto, la forma de la curva descrita por el Sol en su movimiento ánuo puede obtenerse del modo siguiente.

Sobre un plano cualquiera, que represente el plano de la eclíptica, por ej., el del papel, se marca un punto T (*Fig. 117*),

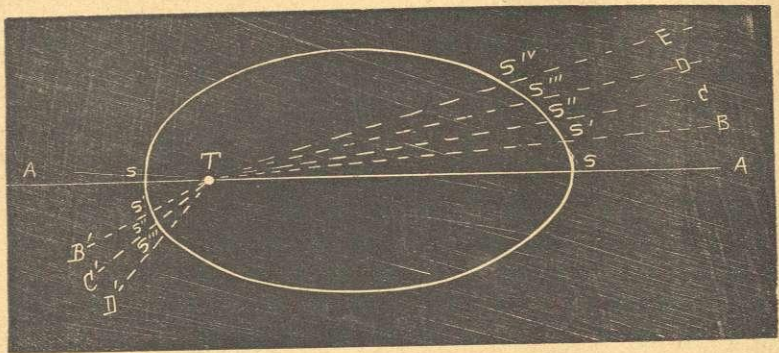


FIG. 117.—FORMA ELÍPTICA DE LA CURVA ANUA DEL SOL.

que represente la Tierra. Se traza desde T un radio indefinido TA y sobre él se toma una magnitud arbitraria TS: S representa el punto en que se encuentra el Sol á principios de Julio, fecha en que su diámetro aparente tiene el valor mínimo; sea Δ este valor. Al día siguiente el Sol estará en otro punto del plano, puesto que ha partido del punto S y en la dirección SS' en virtud de su movimiento ánuo. El punto en que estará el Sol en este día ha de encontrarse sobre otro radio vector que forme con TS un ángulo igual á la velocidad angular del Sol en el día transcurrido (número 152); sea el nuevo radio TB. Para determinar el punto de este radio en que está el Sol, no hay más que tomar sobre él una magnitud TS' que sea inversamente proporcional al diámetro aparente del Sol. Como á partir de principios de

Julio, este diámetro aparente aumenta, la magnitud TS' se obtiene por la fórmula

$$TS' = TS - \frac{\delta}{\Delta}$$

en la que δ representa el diámetro aparente del Sol en el día de la observación.

Así se continúa trazando radios vectores y marcando sobre ellos los puntos en que se encuentra el Sol hasta llegar á fin de Diciembre, fecha en que la velocidad angular y el diámetro aparente del Sol alcanzan su valor máximo; el radio vector de este día Ts obtendrá á su vez el valor mínimo. Sea Δ' el valor máximo del diámetro aparente.

A partir de esta nueva fecha la velocidad angular y el diámetro aparente del Sol disminuyen; por consiguiente la fórmula para encontrar desde este día hasta principios de Julio el punto del radio vector, en que el Sol se encuentra, será

$$Ts' = Ts + \frac{\Delta'}{\delta}$$

Continuando así hasta fin de Diciembre, no queda más que unir por una línea los puntos marcados sobre los radios vectores en todo el año, para obtener la forma verdadera de la curva descrita por el Sol en su movimiento ánuo. Esta es, como indica la figura, una elipse de la cual ocupa la Tierra uno de los focos. Adviértase que el eje mayor de una elipse recibe en Astronomía el nombre de *línea de los apsidés*.

§ III.—*Planteamiento del problema relativo al movimiento ánuo ó elíptico del Sol.*

155. HIPÓTESIS DE LA TRASLACIÓN DEL SOL ALREDEDOR DE LA TIERRA.—La primera idea que ocurre al estudiar el movimiento ánuo del Sol, es que dicho astro gira realmente alrededor de la Tierra. Con esta hipótesis parece que se salvan y explican las apariencias de dicho movimiento, puesto

que no se hace más que dar realidad en la Naturaleza á un fenómeno tal como á primera vista se percibe.

156. HIPÓTESIS DE LA TRASLACIÓN DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL.—También se salvan y explican las apariencias del movimiento elíptico del Sol, suponiendo que la Tierra describe una elipse alrededor de este astro en el mismo tiempo, en la misma dirección é igual, aunque inversamente colocada, á la que el Sol describe aparentemente alrededor de la Tierra. Obsérvese, para comprender bien esta afirmación, la figura 118. SS'S'' representa la elipse descrita

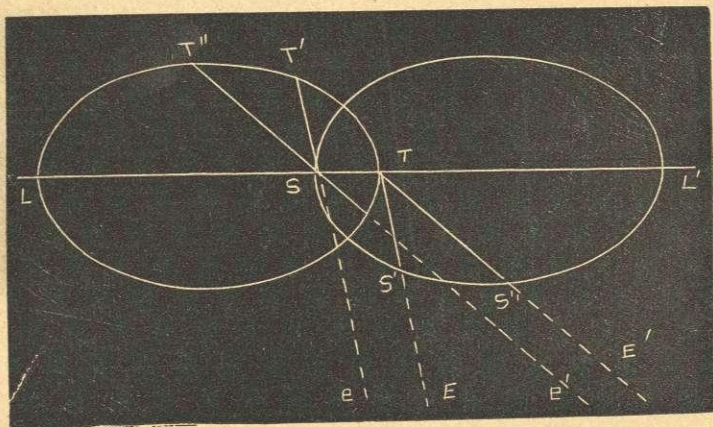


FIG. 118. — DOS EXPLICACIONES DE LA TRASLACIÓN DEL SOL ALREDEDOR DE LA TIERRA.

por el Sol; TT'T'' la descrita por la Tierra; ambas iguales, inversamente colocadas y las líneas de los ápsides en la prolongación una de otra.

Si suponemos que el Sol gira alrededor de la Tierra, cuando esté en S, se proyectará sobre L; cuando en S' sobre E, y cuando en S'' sobre E', etc. Si ahora suponemos que la Tierra es la que gira alrededor del Sol, cuando esté en T, se proyectará el Sol sobre L, como anteriormente; cuando esté en T', habiendo descrito el arco TT' igual al SS' y recorrido en el mismo tiempo, el Sol, que continúa en S, se

proyectará en e, y cuando en T'' en e'. Ahora bien; las líneas T'Se y T''Se' son respectivamente paralelas á las TS'E y TS''E', y como el radio de la esfera celeste es casi infinito, los efectos serán sensiblemente iguales.

Sucede con este movimiento de la Tierra lo que en pequeña escala puede observarse, colocando una luz en el centro de un salón de grandes dimensiones y dando una vuelta á su alrededor. La luz se proyectará sobre las paredes del salón, pareciendo girar alrededor del observador.

157. PROBABILIDAD DE QUE LA TIERRA SEA LA QUE GIRE ALREDEDOR DEL SOL Y NO EL SOL ALREDEDOR DE LA TIERRA.— Observando ahora que la luz que ilumina á la Tierra y el calor que la vivifica proceden del Sol; que los demás planetas giran alrededor de este astro; que las dimensiones del Sol son considerablemente mayores que las de la Tierra, y recordando por último la ley de la gravitación universal, se comprende con facilidad que la hipótesis de la traslación del Sol alrededor de la Tierra no puede subsistir, y que se hace necesario admitir la traslación de la Tierra alrededor del Sol, con lo cual todo se explica satisfactoriamente y de la manera más sencilla.

Esta verdad quedará plenamente confirmada con pruebas directas, cuando estudiemos la Tierra.

ARTÍCULO II.

MOVIMIENTOS VERDADEROS DEL SOL.

158. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS VERDADEROS DEL SOL.—En el estado actual de la Ciencia Astronómica no puede sostenerse que el Sol sea el centro de todo el Universo, ni que esté inmóvil. Por lo que respecta á lo primero ya hemos dicho que es el centro de un sistema particular, el solar; por lo que dice relación á lo segundo, explicaremos en este artículo sus movimientos; el de rotación sobre su eje, y el de traslación por los espacios.

§ I.—*Movimiento de rotación del Sol.*

159. ROTACIÓN DEL SOL: SU DURACIÓN APARENTE Y VERDADERA. —Hemos dicho en el número 145 que en el disco solar se observan manchas oscuras. Estas manchas no ocupan siempre el mismo punto de la superficie solar con relación á nosotros; antes bien, cambian constantemente de posición, puesto que aparecen por el borde oriental del disco, lo cruzan y desaparecen por el borde occidental. Si la mancha observada es muy considerable, al cabo de cierto tiempo reaparece de nuevo por el borde oriental y sigue su trayectoria. Siendo este movimiento común á todas las manchas, es claro que ha de responder á una misma causa, y como se comprende facilmente, esta causa es la rotación del Sol sobre su eje.

Cuando se desea evaluar siquiera sea aproximadamente la duración de la rotación solar, utilizando el tiempo empleado por las manchas en volver al mismo punto del disco, hácese necesario tener en cuenta el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

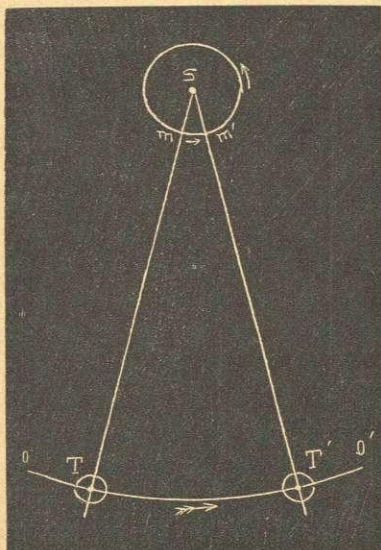


FIG. 119.—ROTACION DEL SOL.

En efecto; supongamos que S (*Fig. 119*) es el centro del Sol; *m* una mancha observada en el centro de su disco por un observador colocado en la Tierra T. Si la Tierra estuviese fija en T, el número de días, horas etc., que transcurriesen desde la observación anterior, hasta que la mancha se encontrase de nuevo en el punto *m*, sería el tiempo empleado por el

Sol en girar sobre su eje. Pero no es así como sucede. La

Tierra gira alrededor del Sol; por consiguiente, cuando el observador vé de nuevo la mancha en el centro del disco solar, la Tierra se encuentra en otro punto T' de su trayectoria. Es, pues, evidente que la mancha solar se ha encontrado en el mismo punto *m* de la observación anterior, antes de ocupar el centro del disco, habida consideración á la nueva posición del observador. Para que este la vea nuevamente en el centro del disco, ha tenido aquella que recorrer además el arco *mm'*. El tiempo transcurrido desde que el observador vió la mancha en *m* hasta que la vé nuevamente en *m'* es la duración de la *rotación aparente* del Sol; la duración de la *rotación real* es el tiempo que emplea el Sol en dar una vuelta completa sobre su eje y que es sensiblemente igual al anterior, disminuido en el empleado por la mancha en recorrer el arco *mm'*.

160. SENTIDO Y DURACIÓN DE LA ROTACIÓN DEL SOL.—El sentido en que se verifica la rotación del Sol está evidentemente dado por la dirección del movimiento de las manchas: es, por consiguiente, de Occidente á Oriente; esto es, en la misma dirección que el de la Tierra.

La duración aproximada puede obtenerse del siguiente modo. Se anota el día y la hora en que se observa una mancha en el centro del disco; se la sigue con el antejo, para notar sus variaciones y poder percibirla mejor, cuando de nuevo aparezca sobre el borde oriental; se la observa otra vez ya reaparecida, y se anota nuevamente el día y hora en que se vé en el centro del disco. Comparando este dato con el anterior se comprobará que han transcurrido 27 días y $\frac{1}{3}$.

La mancha observada ha recorrido, pues, en 27^d, 3 una circunferencia más el arco *mm'* (Fig. 119). El valor de este arco es igual al TT' recorrido por la Tierra en su movimiento de traslación en los 27^d, 3. Ahora bien; en este tiempo la Tierra recorre por término medio un arco de 26°, 90; luego la mancha ha recorrido 360° + 26°, 90 = 386°, 90.

Por lo tanto,

$$386^{\circ}, 90 : 360^{\circ} :: 27^{\text{d}}, 3 : x,$$

de donde

$$x = \frac{27, 3 \times 360^{\circ}}{386, 90} = 25^{\text{d}}, 4$$

En realidad, el problema de la rotación del Sol es más complejo de como lo hemos presentado. Basta, para convenirse de ello, tener presente:

1.º Que las manchas solares no están fijas sobre el disco solar ni son invariables; antes bien, aparte del movimiento común explicado, cambian de magnitud y de forma, se dividen y subdividen, y á veces desaparecen antes de concluir la observación.

2.º Que las más próximas al ecuador solar se mueven con más velocidad que las más distantes, y que en la proximidad de los polos son muy raras.

3.º Que este problema envuelve no solo la duración de la rotación, sino también la posición de los nodos del ecuador solar, ó sea, determinar la longitud del nodo ascendente (1), y la inclinación del ecuador solar respecto de la eclíptica, para determinar el eje de rotación.

Sin entrar en los procedimientos empleados por los Astrónomos para dar solución cumplida á estos problemas, véase el cuadro siguiente extractado del que tiene el P. Secchi (2), en el cual se dan los resultados obtenidos por algunos observadores.

Astrónomos	Tiempo de la rotación en días solares medios.	Inclinación del ecuador solar sobre la eclíptica.	Longitud del nodo ascendente.	Épocas de las observaciones.
Scheiner.	25,33	7.º 30'	de 69.º á 70.º	1675
Cassini.	25,58	7. 30	70.º, 10	1678
Delambre.	25,01	7. 19	80, 17	1775
Laugier.	25,34	7. 9	75, 8	1840
Carrington.	25,09	7. 15	73, 40	1850
Spörer.	25,234	6. 57	74, 36	1866

Por último, el análisis espectral, dice Gelióu Towne (3),

(1) Véase la definición de *nodos* en el cap. 1.º de la secc. 2.ª de esta 2.ª parte.

(2) *El Sol*, Tom. 1.º, pag. 130.

(3) *Astronomie, Astrophysique, Géodésie, Topographie et Photogrammetrie pratique*, Tom 1.º, pag. 427.

ha permitido á M. Dunér, Director del Observatorio de Upsal, medir directamente y en todo tiempo la velocidad de rotación del Sol, valiéndose para ello de la diferencia de longitud de onda entre rayas muy próximas de su espectro. Resulta de sus observaciones que la velocidad de los puntos del borde solar calculada para las diferentes latitudes heliocéntricas da los valores siguientes:

Latitud	Velocidad de rotación.	Velocidad angular.	Número de las observaciones.	Duración de la rotación.
0,° 4	1, Km. 90	14,° 14	107	25, d 46
30, 0	1, 58	13, 06	104	27, 57
60, 0	0, 74	10, 62	107	33, 90
74, 0	0, 34	9, 34	107	38, 54

Combinando todas las observaciones y todos los datos obtenidos se admite hoy: 1.º, que la duración de la rotación solar es de 25^d 4^h 29^m; 2.º, que la inclinación del ecuador solar sobre la eclíptica es de 6° 58', y 3.º, que la longitud del nodo ascendente es de 74° 36' (1).

§ II—*Movimiento de traslación del Sol.*

161. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS SOBRE LA TRASLACIÓN DEL SOL POR LOS ESPACIOS.—A partir del siglo último, ó sea, de las investigaciones de Herschel, los Astrónomos han procurado determinar la trayectoria que el Sol describe en el espacio y la velocidad con que la describe.

Se observa en determinada región de la esfera celeste que las constelaciones se ensanchan, esto es, que las distancias angulares de algunas estrellas aumentan constantemente, aunque con gran lentitud. Lo contrario sucede en la región opuesta. Se comprende con facilidad que estas variaciones en las formas de las constelaciones pueden proceder

(1) *Annuaire publié par le Bureau des Longitudes* (Paris, 1900).

de dos causas: 1.^a, del movimiento propio de las estrellas; 2.^a, del movimiento de traslación del Sol, en virtud del cual se acerca á unas constelaciones y se separa de otras (1).

Los trabajos de los Astrónomos han dado por resultado que ninguna de las dos causas citadas satisface por sí sola las apariencias, y por consiguiente que hay necesidad de admitir la existencia de ambas.

Esto supuesto, se llama *Apex* el punto de la esfera celeste hácia el cual se dirige el Sol; *Antiapex* aquel del cual se separa.

Los primeros trabajos sobre este punto se deben á Herschel, quien, estudiando el movimiento propio de varias estrellas, Sirio, Arturo, Cabra, etc , asignó al *Apex Solar* las coordenadas siguientes:

AR..... 260° 41'—Declin..... + 28° 49',

punto de la esfera celeste que se encuentra en la constelación de Hércules.

Nuevas investigaciones de los Astrónomos han dado los resultados siguientes:

Coordenadas del Apex Solar		
Astrónomos	Ascensión Recta	Declinación
Argelander	257° 49'	+ 28° 50'
Maedler	261° 38'	+ 39° 54'
Struve	266° 07'	+ 31° 0'
Boss	280° 0'	+ 40° 0'

Los datos adquiridos para la velocidad son todavía más inciertos.

He aquí los obtenidos por Keeler, según Gelion Towne.

(1) Se hará cargo el lector de esta afirmación, observando lo que sucede cuando se pasea por el centro de una línea férrea. Los rails aparecen á lo lejos muy próximos uno á otro, abriéndose á medida que el paseante camina: lo contrario se nota en la parte opuesta.

Admitiendo Keeler que la nebulosa de Orión estaba fija en el espacio, encontró 22 Km por segundo para la traslación del Sol; pero nuevas investigaciones le demostraron que la nebulosa mencionada tiene un movimiento radial, cuyo valor es de $+ 17 \text{ Km}$ por segundo. Las observaciones espectroscópicas hechas en Postdam asignan 10 Km , 7 á la velocidad del Sol. Para concluir, los valores asignados á esta velocidad oscilan entre 10 y 30 Km por segundo.

Como se ve, la traslación del Sol en el espacio es un hecho; la naturaleza de la órbita que describe, así como sus elementos son aún un misterio para la Ciencia. Y á la verdad, no puede ser de otra manera, puesto que dadas las dimensiones tan colosales, que esta órbita ha de tener, se necesitan muchos años para que puedan percibirse con exactitud y certeza las variaciones que dicha traslación producirá en el aspecto del Cielo.

CAPITULO III.

EL GLOBO SOLAR

Estudiados los movimientos del Sol, nos proponemos dar á conocer en este capítulo lo que es en sí mismo, los grandiosos fenómenos que en él se realizan y los que ocasiona en el exterior.

ARTICULO I.

FIGURA DEL SOL.—SU DISTANCIA Á LA TIERRA.

162. FORMA GLOBULAR DEL SOL.—La forma globular del Sol se deduce de lo que ya hemos consignado acerca de este astro. Se comprende fácilmente que un astro que gira sobre sí mismo; que presenta toda su superficie á un observador colocado en la Tierra, y que siempre se manifiesta como un disco circular redondo, tiene forma sensiblemente esférica ó globular, puesto que la esfera es el único cuerpo que puede responder á todos estos fenómenos.

163. INTIMA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LA PARALAGE DE UN ASTRO Y SU DISTANCIA Á LA TIERRA.—Cuando en el núm. 65

hablábamos de la paralage, obteníamos en último término la fórmula,

$$\text{sen. } \pi = \frac{\rho \times \text{cos. LOL}'}{\delta}$$

Ahora bien; cos. LOL' no es más que el coseno de la altura del astro observado; luego, si suponemos que el astro se encuentra en el horizonte, la fórmula puede expresarse

$$\text{sen. } \pi = \frac{\rho}{\delta}.$$

Mas como sen. π representa el seno de la paralage, y la paralage de un astro es siempre muy pequeña, sen. π puede tomarse sin error sensible por su arco, ó sea, por π ; por lo tanto,

$$\pi = \frac{\rho}{\delta}, \quad (\alpha)$$

de donde

$$\delta = \frac{\rho}{\pi}; \quad (\beta)$$

fórmulas que nos dicen que conocida la paralage se puede deducir la distancia del astro á la Tierra, y que conocida esta distancia puede deducirse su paralage, puesto que el radio de la Tierra es una cantidad conocida.

Si π expresa la paralage en segundos, y δ la distancia del astro á la Tierra expresada en radios terrestres, la fórmula (β) se convierte en esta otra.

$$\delta = \frac{206.264' 80}{\pi} \quad (\gamma)$$

Para hacerse cargo de esta transformación, obsérvese que, como se enseña en Geometría,

$$C = 2\pi R \quad \text{y} \quad R = \frac{C}{2\pi},$$

representando en estas fórmulas C la circunferencia, R el radio y π la relación de la circunferencia con su diámetro.

Esto supuesto, es evidente que

$$360^\circ = 2\pi R \quad \text{y que} \quad 180^\circ = \pi R :$$

haciendo el radio igual á la unidad, tendremos,

$$180^\circ = \pi ;$$

por lo tanto, el arco de 1° , valdrá

$$1^\circ = \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{3' 141 592 65}{180^\circ} = 0' 0174 5329;$$

el arco de $1'$,

$$1' = \frac{\pi}{10.800'} = \frac{3' 141 592 65}{10.800'} = 0' 000 290 8882,$$

y el de $1''$,

$$1'' = \frac{\pi}{648.000''} = \frac{3' 141 592 65}{648.000''} = 0' 00000 484 8136.$$

Del mismo modo, tenemos,

$$R = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{180^\circ}{3' 141 592 65} = 57' 2957;$$

y también,

$$R = \frac{10.800'}{\pi} = \frac{10.800'}{3' 141 592 65} = 3.437' 746;$$

y además,

$$R = \frac{648.000''}{\pi} = \frac{648.000''}{3' 141 592 65} = 206.264' 80.$$

Luego el arco de 1° , valdrá

$$1^\circ = \frac{R}{57' 2 957};$$

el de $1'$,

$$1' = \frac{R}{3. 437' 746},$$

y el de $1''$,

$$1'' = \frac{R}{206.264' 80}$$

Si ahora tenemos en cuenta que, dado el escaso valor de la para-

lage, el radio TO (*Fig. 120*) se considera como igual á su arco, descrito desde el centro S del astro y con un radio ST, igual á la distancia del astro á la Tierra, se comprenderá que, si el ángulo TSO es de 1", la

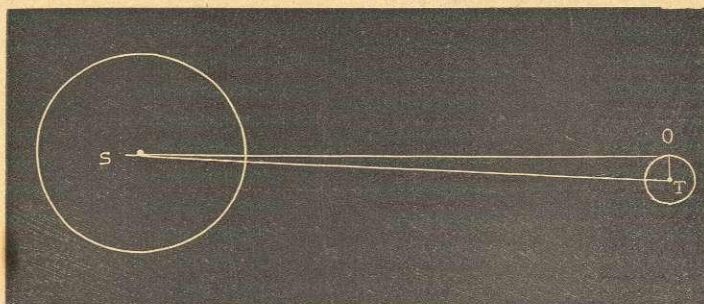


FIG. 120.—PARALAGE DEL SOL.

distancia ST, ó sea, el radio con que está trazado el arco TO, será 206. 264' 80 veces mayor que TO; y también que si es de 2", 3", 4", etc., será 2, 3, 4 veces menor que el anterior. Por consiguiente,

$$TS = \frac{206.264'80}{TO},$$

pero TS es la distancia del astro á la Tierra y TO el valor de la paralage, luego

$$\delta = \frac{206.264'80}{\pi}.$$

164. PARALAGE DEL SOL: SUS DIVERSOS VALORES.—Siendo la órbita de la Tierra una elipse, es claro que unas veces estará más próxima al Sol y otras más distante. Ahora bien; la paralage de un astro está en razón inversa de su distancia á la Tierra, por consiguiente la paralage del Sol será mayor ó menor según la época del año en que se mida.

165. PARALAGE MEDIA: DISTANCIA MEDIA DEL SOL Á LA TIERRA.—Por lo dicho en el número anterior se comprende por qué los Astrónomos, cuando tratan de adoptar un valor

constante para la paralage del Sol lo refieren siempre á la distancia media del Sol á la Tierra.

Los procedimientos empleados para encontrar el valor de esta paralage son diversos, y diversos son también los resultados obtenidos, como puede verse por el siguiente cuadro.

Procedimientos empleados.	Valores.
Velocidad de la luz.	8'', 86
Paso del planeta Venus (1769)	8'', 86
Observaciones sobre el planeta Marte	8'', 84
Id. id. id.	8'', 85

En vista de los datos obtenidos habiase adoptado por constante de la *paralage horizontal ecuatorial* del Sol, al calcular las Efemérides Astronómicas, el valor de 8'', 86.

Pero investigaciones más recientes han hecho que la *Conferencia Internacional de las estrellas fundamentales*, reunida en París en 1896 adopte por constante de la paralage citada 8'', 80. Este valor es el empleado en el *Almanaque Náutico* de 1900, y en el *Anuario del Bureau des Longitudes* del mismo año.

Por lo tanto, la fórmula (γ) del número 163 se convierte en esta otra

$$\delta = \frac{206.264,80}{8'',80}$$

de donde

$$\delta = 23.439,18$$

Luego, la distancia media del Sol á la Tierra es de 23.439,18 radios terrestres ecuatoriales, ó sea de 149.501'020.132,54 metros ó 149'501.020,132 kilómetros, ó 37'375.255 leguas de 4 kilómetros.

El Almanaque Náutico dá para todo el año el valor de la paralage horizontal ecuatorial del Sol calculada de 10 en

10 días; por consiguiente, es muy fácil obtener la distancia del Sol á la Tierra en un momento dado cualquiera.

Para calcular el efecto de la paralage correspondiente á una altura determinada, obsérvese de nuevo la fórmula general

$$\text{sen. } \pi = \frac{\rho \times \text{cos. LOL}'}{\delta}$$

En el horizonte, tenemos, como ya hemos dicho,

$$\text{sen. } \pi' = \frac{\rho}{\delta}$$

Dividiendo ordenadamente estas dos igualdades, será

$$\frac{\text{sen. } \pi}{\text{sen. } \pi'} = \frac{\frac{\rho}{\delta} \times \text{cos. LOL}'}{\frac{\rho}{\delta}}$$

de donde

$$\frac{\text{sen. } \pi}{\text{sen. } \pi'} = \text{cos. LOL}'$$

Ahora bien; como las paralages son siempre muy pequeñas, se puede tomar, como hemos indicado varias veces, el arco por su seno; por lo tanto.

$$\frac{\pi}{\pi'} = \text{cos. LOL}'$$

de donde

$$\pi = \pi' \times \text{cos. LOL}'$$

Esta fórmula nos dice que la paralage de altura es igual á la paralage horizontal multiplicada por el coseno de la altura aparente observada.

Dando á las fórmulas de la paralage nuevos desarrollos, los Astrónomos han construido Tablas, que dan el valor de la paralage de altura para distintos grados desde 0° hasta 90° y para todos los meses, tomando, como es natural, por valor de la paralage horizontal, el que le corresponde, según la distancia del Sol á la Tierra.

El Conocimiento de los Tiempos dá una de estas Tablas para el primer día de cada mes y calculada de 3 en 3 grados hasta el 42, y de 2 en 2 grados desde el 42 hasta el 90.

ARTÍCULO II.

DIMENSIONES DEL SOL.

166. DIÁMETRO DEL SOL.—Conocido (núm. 153) el valor del diámetro aparente del Sol y (núm. 165) el de la paralage, que no es sino el radio de la Tierra visto desde el Sol, el valor del diámetro real del Sol se obtiene, fundándose en la proporcionalidad que existe entre los diámetros aparentes y los verdaderos. Así llamando Δ al diámetro verdadero del Sol y δ al de la Tierra, ó sea al duplo de la paralage del Sol, podemos formar la siguiente proporción

$$\Delta : \delta :: 32' 3'', 64 : 17'', 60$$

de donde

$$\Delta = \frac{32' 3'', 64 \times \delta}{17'', 60} = \frac{1963'', 64 \times \delta}{17'', 60}$$

y tomando á δ como unidad

$$\Delta = \frac{1963'', 64}{17'', 60} = 109, 30$$

Por consiguiente, el diámetro del Sol equivale á 109,30 diámetros ecuatoriales terrestres. Su valor expresado en kilómetros y en números redondos es de 697.130 (1). No hay necesidad de advertir que el semidiámetro ó radio del Sol equivale á 109,30 radios terrestres ecuatoriales.

167. SUPERFICIE Y VOLUMEN DEL SOL.—Se sabe por la Geometría que las superficies y los volúmenes de dos esferas son respectivamente proporcionales á los cuadrados y á los cubos de sus radios, y sabemos por el número anterior que el radio del Sol es 109,30 veces mayor que el de la Tierra. Luego, tomando como unidad el radio de la Tierra, la superficie y el volumen del Sol serían respectivamente 109,30² y 109,30³

(1) Los datos se refieren al *Anuario* publicado por *Le Bureau des Longitudes* (Paris) para 1900.

veces mayores que la superficie y el volumen de la Tierra, si esta fuese una esfera perfecta. Resulta que en números redondos la superficie del Sol es 12.000 y el volumen 1'310.000 veces mayores que los de la Tierra. Expresando la superficie en kilómetros cuadrados vale 1² 020.164¹ 000.000; y el volumen en kilómetros cúbicos 1³ 419.175² 000.000¹ 000.000.

168. MASA Y DENSIDAD DEL SOL.—Para obtener el valor de la masa del Sol se necesita operar con algunas fórmulas de Mecánica, que nos llevarían demasiado lejos, si nos detuviéramos á exponerlas. Por lo tanto, consignamos únicamente que la masa del Sol es 324.439 veces mayor que la de la Tierra.

Conocida la masa del Sol se obtiene su densidad por medio de una sencilla proporción ó sea

$$324.439 : 1'310.162 :: x : 1$$

en la cual el 1.^{er} término indica el número de veces que la masa del Sol contiene la de la Tierra; el 2.^o el número de veces que el volumen del Sol contiene el de la Tierra; el 3.^o la densidad del Sol, y el 4.^o la de la Tierra, tomada como unidad; luego

$$x = \frac{324.439}{1'310.162} = 0'25.$$

Tomando la densidad del agua como unidad es 1'4.



169. VALOR DE LA ATRACCIÓN EN LA SUPERFICIE DEL SOL.—Indicaremos, para terminar este artículo, el valor de la atracción en la superficie del Sol (ecuador). Esta atracción es la ejercida por la masa del Sol sobre todos los cuerpos situados en su superficie. Su valor es de 27'625, tomando como unidad la que ejerce la Tierra sobre los cuerpos situados en su superficie.

170. RESUMEN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS.—Con el objeto de que se perciban con gran claridad los diversos

elementos expuestos, referentes á nuestro luminar mayor, los sintetizamos en el cuadro siguiente:

PRINCIPALES ELEMENTOS DEL SOL	
Distancia media á la Tierra.	{ En segundos: paralage horizontal ecuatorial
	media 8''80
	{ En radios terrestres ecuatoriales. 23.439,18
	{ En millones de kilómetros 149'501
Diámetro aparente.	{ A la distancia media 32'3'',64
	Radio Diámetro real.	{ Unidad: el de la Tierra . . . . . 109'30
Superficie	{ Unidad: la de la Tierra 12.000
	{ En billones de kilómetros cuadrados. 12,020
Volumen.	{ Unidad: el de la Tierra 1'310.362
	{ En trillones de kilómetros cúbicos 12,419
Masa.	{ Unidad: la de la Tierra 324.439
	Densidad.	{ Unidad: la de la Tierra . . . . . 0'25
Valor de la atracción.	{ En el ecuador: unidad el de la Tierra 27'625
Rotación.	{ En el ecuador: días, horas, minutos. 25. 4. 29

ARTICULO III.

CONSTITUCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SOL.

171. CAPAS Ó ENVOLVENTES QUE LOS ASTRÓNOMOS DISTINGUEN EN EL SOL.—Los Astrónomos distinguen en el globo del Sol cuatro partes: núcleo, foto-esfera, cromo-esfera y atmósfera.

El *núcleo*, como indica su mismo nombre, ocupa todo su

interior, con unas dimensiones colosales. Permanece oculto á las miradas de los Astrónomos; esto es, á las observaciones directas de cualquier clase que sean.

La *foto-esfera* es la capa brillante, de donde parten los rayos lumínicos y térmicos, que llevan el calor y la luz á los demás astros del sistema: rodea inmediatamente y en toda su extensión al núcleo.

La *romo-esfera* es una capa incandescente, algún tanto coloreada, como lo indica su nombre, y que rodea inmediatamente y en toda su extensión á la foto-esfera.

La *atmósfera* es la última envolvente del Sol, invisible á la simple vista: puede observarse con el auxilio de los anteojos, telescopios y espectroscopios en los eclipses totales de Sol.

§ I.—*Estudio particular del núcleo.*

172. OPINIONES DE LOS ASTRÓNOMOS ACERCA DEL NÚCLEO SOLAR.—Según Wilson y Herschel el núcleo solar era oscuro y frío: Kirchhoff y Zöllner lo hacían sólido ó líquido. El P. Secchi lo consideraba gaseoso hasta una gran profundidad, encontrándose en lo más interior en ese estado crítico que separa los gases de los líquidos. Hoy se admite con Faye, Young y Langley que todo él se encuentra en estado gaseoso.

Háse llegado á esta conclusión, porque la 1.^a opinión parece estar en contradicción con las enseñanzas de la Física sobre la irradiación y conductibilidad del calor y la 2.^a no explica más que las rayas oscuras del espectro solar. La opinión que considera al núcleo solar en estado gaseoso, propuesta por vez primera al mundo sabio por el P. Secchi (1), es por consiguiente la que posee mayores probabilidades, puesto que con ella se explican en la actualidad todos los fenómenos del Sol.

(1) Esta opinión se atribuyó á Mr. Faye, pero el P. Secchi la vindica como suya con estas palabras: «Mr. Faye admitió después que yo el estado gaseoso del Sol, y por haber desarrollado en Francia esta teoría se le tiene en dicha Nación, como el inventor de ella.» Citado en el P. Cappa. *Tratado de Cosmografía*, pág. 41.

§ II.—*Estudio particular de la foto-esfera.*

173. ASPECTO DE LA FOTO-ESFERA.—La foto-esfera, capa que rodea el núcleo en toda su extensión, presenta un aspecto granular ondulado: en ella se observan las manchas (*Fig. 121*) y las fáculas.

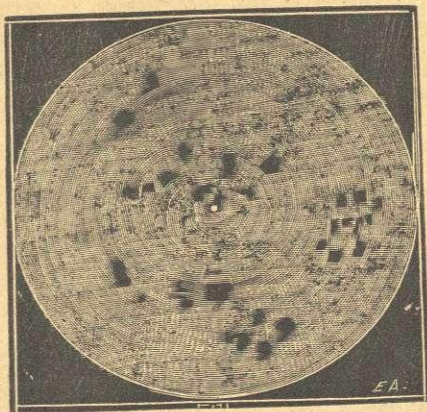


FIG. 121. MANCHAS SOLARES.

174. MANCHAS SOLARES.—En el número 159 hemos hablado de las manchas y hemos visto como se prueba, valiéndose de sus movimientos, el movimiento de rotación del Sol. Ahora condensaremos su

estudio en los puntos siguientes:

1.º *Elementos de las manchas.*—Toda mancha se compone por regla general de dos elementos distintos; uno de un negro muy pronunciado, que ocupa el centro; se llama *núcleo* (*Fig. 122*); el segundo de color más claro, llamado *penumbra*, forma como un anillo alrededor del núcleo: el tono ó color de la penumbra no es uniforme, antes bien, es más oscuro cerca de los bordes exteriores: circunstancia que atribuye Delaunay á un efecto de contraste.

2.º *Aspecto de las manchas.*—Las manchas afectan formas muy variadas; presentándose á veces como un inmenso vórtice, lo cual ha hecho suponer á Mr. Faye que las manchas no son más que *ciclones*.

Entre los fenómenos particulares que se observan en su interior son dignos de notarse los puentes y los velos coloreados. Se llaman *puentes* los arcos brillantes que atraviesan la mancha, dividiéndola en varias partes: aparecen como si realmente estuviesen suspendidos sobre grandes

abismos; siendo su brillo de ordinario, como el de la foto-esfera. *Velos coloreados* son unos velos delgadísimos y transparentes de color rosado ó violáceo. Los datos más impor-

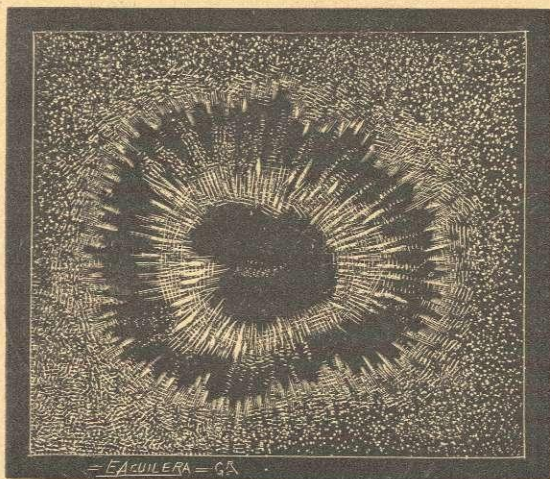


FIG. 122.—MANCHA SOLAR OBSERVADA POR EL P. SECCHI.

tantes sobre este punto se deben al P. Secchi, quien ha probado que estos velos presentan con frecuencia el color rojo; que se distinguen realmente de la penumbra, y que tienen una existencia real, independiente de toda ilusión óptica.

3.º *Dimensiones de las manchas.*—No tienen las manchas dimensiones fijas, ni constantes; presentándose desde simples poros, visibles únicamente con el auxilio de los más poderosos instrumentos, hasta ocupar la cuarta parte del diámetro solar con todas las dimensiones intermedias.

4.º *Formación y transformaciones.*—La formación de las manchas es muy variada; unas nacen con gran lentitud por dilatación de los poros; otras se presentan de improviso y en medio de grandes agitaciones foto-esféricas, producidas por movimientos complejos y tumultuosos.

Una vez formadas, no permanecen invariables, antes

bien se transforman hasta el punto de no asemejarse en nada á su primer aspecto. Háse observado que experimentan más transformaciones y desaparecen con más rapidez las que son debidas á violentas agitaciones de la superficie solar.

5.º *Número y zonas de producción.*—El número de las manchas no está sujeto á ninguna ley, al menos conocida, siendo muy variable. Tampoco están repartidas de un modo uniforme sobre toda la superficie solar: son muy raras en las inmediaciones del ecuador y apenas si se encuentran en la proximidad de los polos. Por regla general se producen en las dos zonas comprendidas entre los 10º y 30º de latitud heliocéntrica.

6.º *Movimientos de las manchas: su periodicidad.*—Además del movimiento comun que tienen las manchas debido á la rotación del Sol sobre su eje, parece necesario admitir en ellos otros movimientos propios: 1.º, porque la rotación del Sol aparece tanto mayor, cuanto más lejos del ecuador solar se encuentre la mancha observada; de lo cual parece deducirse que las manchas situadas en latitudes más elevadas se mueven en la dirección de su paralelo respectivo, y en sentido opuesto al de la rotación solar; 2.º, por los cambios y transformaciones que experimentan; y 3.º, porque según las últimas observaciones de los Astrónomos las manchas parecen dotadas de movimientos oscilatorios, cuyas leyes son todavía desconocidas.

Las observaciones de los Astrónomos han indicado además: 1.º, que la aparición de las manchas y su número es periódica; 2.º, que la duración del periodo es incierta: los valores que se le asignan oscilan entre 9 y 16 años. Es sin embargo cierto que en el espacio de 10 ó 12 años hay un periodo de máxima y otro de mínima en el número de las manchas, y que cada máxima está más próxima á la mínima anterior que á la siguiente.

175. NATURALEZA DE LAS MANCHAS SOLARES.—Sostuvo el P. Scheiner que las manchas solares eran satélites que

giraban alrededor del Sol (1), opinión que más tarde abandonó. Galileo guardó primeramente silencio sobre el particular: supuso después que el Sol tenía su atmósfera y que las manchas procedían de nubes ó humos que flotaban en ella.

Para Lalande eran verdaderas montañas, cuyas laderas más ó menos escarpadas constituían lo que hemos llamado penumbra. Para otros eran grandes masas de escorias flotantes sobre un Océano de fuego, ó los humos salidos de los cráteres volcánicos del Sol.

Un siglo proximamente después del descubrimiento de las manchas Wilson sostuvo que las manchas eran cavidades, midió su profundidad y dió los primeros pasos para determinar la verdadera constitución del Sol, comparando la envoltente solar, que hemos llamado foto-esfera, á una nube poderosamente iluminada.

La opinión de que las manchas son *cavidades* (2) puede decirse que es un hecho conquistado para la ciencia. El método empleado para demostrarlo por Warren de la Rue consiste en tomar dos fotografías de la misma mancha con un día de intervalo, en el que cada punto recorre aproximadamente 15°, se las coloca en un estereoscopio y se nota perfectamente la cavidad interior, cuyos bordes parecen elevarse sobre la foto-esfera.

Admitiendo que las manchas son cavidades Mr. Faye sostiene que no son más que ciclones, opinión con la que no

(1) Esta opinión fué seguida por otros Astrónomos que llamaron á dichos satélites *Sidera Austriaca* y *Sidera Borbónica*, (P. Müller).

(2) Téngase en cuenta que al hablar de *cavidad*, no se dice que sean huecos vacíos de materia. «Cuando decimos cavidad, escribe el P. Secchi, no queremos significar un vacío, sino que en ella el nivel de la materia luminosa está más bajo que en el resto de la foto-esfera... lo cual no se opone á que estén llenas de materias más oscuras, que conserven el equilibrio general y detengan á las sustancias fluidas que pronto se precipitarían en el hueco, si estuviese vacío realmente.»—*El Sol* tom. 1.º pag. 89.

estaba conforme el P. Secchi, aunque admitiese que algunas manchas eran ciclónicas (*Fig. 123*).

Para el sabio Jesuita las manchas no son más que fe-

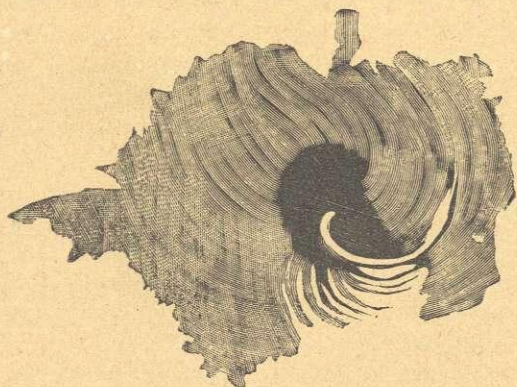


FIG. 123.—MANCHA SOLAR CICLÓNICA,
OBSERVADA POR EL P. SECCHI.

nómenos secundarios producidos por las erupciones y de las cuales dependen tanto en su formación, como en sus transformaciones.

Según este eminente Astrónomo, en el interior del Sol reina una violenta agitación, que se manifiesta por el levanta-

miento á considerable altura de la foto-esfera y de la cromoesfera... Toda mancha supone, pues, una *erupción* del interior al exterior, compuesta de materias gaseosas y metálicas. Mientras subsiste el periodo violento de la erupción, las masas lanzadas se cruzan en todas direcciones, mezclándose á los filamentos de materia foto-esférica, que constituyen los puentes y las corrientes, y dan á las manchas formas extrañas é irregulares: durante este primer periodo en que la agitación está en el colmo, las penumbras no están bien definidas. Cuando cesa esta primera efervescencia y comienza el segundo periodo, ó sea, el de *calma relativa*, la masa proyectada se enfría, bien por enrarecimiento, bien por su permanencia en un medio de temperatura más baja y empieza á descender, tendiendo á reunirse y sumergirse en la foto-esfera, y restableciendo así el nivel alterado en el periodo precedente. Resulta de aquí una mezcla de la sustancia gaseosa enfriada con la materia foto-esférica, y entonces al movimiento confuso y desordenado de la primera faz sucede una afluencia más ó menos regular de materia foto-esférica que en forma de lenguas tiende á llenar el va-

cio, ocasionado por el enfriamiento de los vapores metálicos.

176. FÁCULAS: SUS CLASES Y EXPLICACIÓN.—Son las *fáculas* unas manchas muy brillantes, que se encuentran sobre la foto-esfera. Cuando están en la proximidad del limbo solar se presentan como blanquísimos copos de nieve; asemejarse á veces á ríos ó torrentes de materia brillante que convergen hacia las manchas, y no es raro observarlas formando una aureola alrededor de ellas.

Divídense en *brillantes* y *confusas*: las primeras son muy vivas, claras y determinadas; presentan ciertos puntos negros, que son los rudimentos de las manchas y el asiento de grandes erupciones metálicas; las segundas son difusas é indefinidas; aparecen por todo el disco solar y suelen estar acompañadas de protuberancias hidrogenadas. Ocupan algunas tanta extensión que el P. Secchi asegura haberlas visto extenderse como una onda luminosa sobre la mitad del disco solar.

Para explicar las fáculas se supone, ora que las regiones de la foto-esfera, donde se encuentran, están más elevadas que el nivel común por las fuerzas eruptivas, ora que se encuentra sobre ellas una capa de hidrógeno. En ambas hipótesis se explica muy bien el mayor brillo de las fáculas con relación al resto de la foto-esfera. Los trabajos fotográficos realizados por Janssen han probado que las regiones luminosas que rodean las penumbras de las manchas están formadas por los mismos elementos granulares que el resto de la foto-esfera.

177. GRANULACIÓN FOTO-ESFÉRICA.—Como hemos dicho, la foto-esfera presenta un aspecto granular ondulado, esto es, una sucesión de puntos, proximamente de iguales dimensiones, pero de muy diversas formas (*Fig. 124*), aunque por lo general ovalada. Estos puntos brillantes ó granitos están separados por espacios oscuros, llamados *poros* ó *lúculos* y que á diferencia de las manchas se encuentran en toda la superficie del disco solar.

Cuando están próximos á las manchas, cambian notablemente de forma, aguzándose por ambos extremos y ensanchándose los poros que los separan. Hánse comparado



FIG. 124.—EXTRUCTURA DE LA FOTO-ESFERA.

con los *granos de arroz*, con las *hojas del sauce*, con *briznas de pajas* y con los *puntos de admiración*. Según el P. Secchi son verdaderos puntos luminosos y pueden ser considerados como los vértices de otros tantos conos, que tienen en su base de 200 á 3.000 kilómetros de diámetro.

La granulación, pues, no es más, dice el P. Müller, que la superficie ondulada de la foto-esfera. Las cumbres de estas gigantescas ondas se presentan más brillantes, y la diversidad de ángulos bajo los cuales se cruzan explica muy bien las diversas figuras observadas (glóbulos, elipsóides, granos de arroz, hojas de sauce, puntos de admiración).

178. CONSTITUCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA FOTO-ESFERA.—Admítase hoy que la foto-esfera se encuentra en estado gaseoso. Unos la consideran como puramente gaseosa, estando los gases sometidos á presiones tan considerables que brillan como si fuesen cuerpos sólidos. Hay también quien compara la foto-esfera á una niebla incandescente, esto es,

la suponen compuesta de gases, en los cuales flotan partículas sólidas incandescentes.

Su constitución química la ha demostrado el análisis espectral. Este admirable método enseña que existen en el Sol los cuerpos siguientes: Hierro, calcio, cromo, níquel, bario, zinc, cobalto, hidrógeno, manganeso, titanio, aluminio, estroncio, plomo, cadmio, cerio, uranio, vanadio, paladio y molibdeno. Por el mismo método se ha encontrado un cuerpo desconocido en la Tierra y al cual llamó *helium* el P. Secchi: su raya se produce en el espectro solar muy próxima á la del sodio en la región D de Fraunhofer.

La existencia de las sustancias siguientes está todavía dudosa: Indio, litio, rubidio, cesio, bismuto, estaño, plata, lantano y erbio. Lo mismo sucede con los metalóides, carbono, oxígeno, nitrógeno y azufre.

§ III.—*Estudio particular de la cromosfera.*

179. ASPECTO Y CONSTITUCIÓN DE LA CROMO-ESFERA.—Es la *cromo-esfera* una capa brillante de color rojo, y de unos 10.000 kilómetros de espesor medio. Su existencia se había reconocido en los eclipses de Sol, llamándosele *sierra*, *olas*, *rosa brillante*, etc.

Compuesta de vapores metálicos, principalmente de hidrógeno incandescente, como lo comprueba su espectro de líneas brillantes, entre las cuales sobresalen siempre las del hidrógeno por su mayor longitud é intensidad, rodea y envuelve la foto-esfera en toda su extensión, hasta sobre las manchas; su altura no es uniforme, pudiendo ser en algunos casos sumamente baja. Así lo ha demostrado Mr. Trouvelot, quien asegura haber observado con el espectroscopio que la cromosfera experimenta variaciones tan rápidas, que á veces queda reducida á una línea luminosa, apenas visible, en el mismo lugar donde pocas horas antes tenía un gran espesor.

La parte de esta capa que está en inmediato contacto con la foto-esfera tiene un tinte más vivo que la parte superior, la cual aparece ornada de franjas. Casi siempre está

cubierta de filamentos terminados en punta fina (*Fig. 125*), los cuales se inclinan unas veces en el mismo sentido y

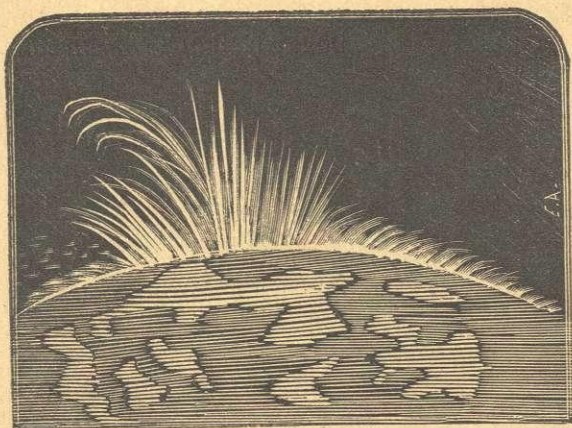


FIG. 125.—ASPECTO DE LA CROMO-ESFERA Y PROTUBERANCIAS.

otras en sentido opuesto. En otras circunstancias los filamentos se ensanchan en su extremidad superior, y no es raro que se conviertan en verdaderas llamas más ó menos grandes.

En la región de las manchas la cromo-esfera, dice el P. Müller, presenta el aspecto de una malla brillante, cuya superficie áspera y desigual parece compuesta de nubes análogas á nuestros *cúmulos*; algunas se dilatan formando pequeñas elevaciones difusas sobre los bordes.

180. PROTUBERANCIAS Y ERUPCIONES.—Las elevaciones difusas, de que acabamos de hablar, toman todos los aspectos y todas las dimensiones, hasta convertirse en protuberancias.

Son las *protuberancias* (*Fig. 126*) ciertos apéndices de considerable altura y de formas caprichosas y variables de la cromo-esfera (1).

(1) Hasta 1868 las protuberancias no podían observarse más que en los eclipses totales de Sol; pero Mr. Janssen que fué al Indostan á observar el del citado año descubrió el método para examinarlas en

Por su forma las protuberancias se dividen en simples y compuestas. Cuéntanse entre las primeras las llamadas

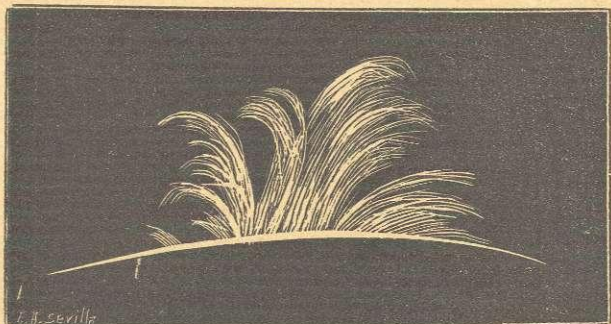


FIG. 126.—PROTUBERANCIAS SOLARES.

cúmulos, llamas, haces, penachos, abanicos, rayos y nubes; palabras que indican suficientemente sus formas.

Estas protuberancias simples se cruzan y entrelazan de mil maneras diferentes, constituyendo las de formas compuestas.

El aspecto que presentan varía también, según que se eleven en el borde ó en el interior del disco solar. Estas últimas han sido denominadas por Deslandres *llamas faculares*.

Las protuberancias están íntimamente relacionadas con la actividad solar, siendo producidas por erupciones de gases incandescentes, generalmente muy hidrogenados (de aquí su color rojo, mas ó menos subido), que fuerzas, cuyo origen no está del todo determinado, dirigen á las regiones superiores. Esta materia no está lanzada siempre en línea recta, antes bien se encuentra animada de movimientos pro-

pleno Sol. También Lockyer en Inglaterra obtuvo el mismo resultado. Este método que tantos servicios ha prestado á la Astronomía no dá sin embargo toda la altura de las protuberancias. Las observaciones, dice Gelion Towne, de los eclipses de Sol de 1882 y 1886 hechas espectroscópicamente y enseguida directamente confirman este hecho.

pios, en virtud de los cuales, alcanzan extraordinaria altura (1), cambian de forma y de posición (2), y caen de nuevo sobre el Sol, describiendo parábolas y espirales de elegante forma.

“Las erupciones ó protuberancias, dice M. Flammarión, varían próximamente como las manchas, con una diferencia de muchos meses, á veces de un año; pero su fluctuación tiene el mismo periodo medio, que es el de la actividad solar. Se tendrá una idea de estas llamas formidables por la figura 127 que representa una de las más bellas, que han

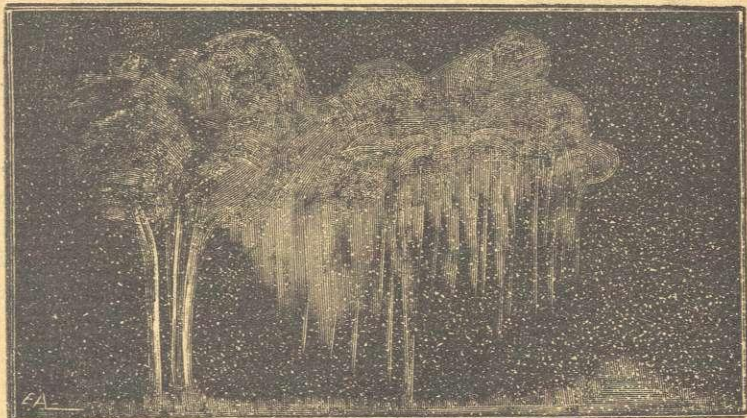


FIG. 127.—ERUPCION SOLAR DE 100.000 KILÓMETROS DE ALTURA.

sido diseñadas (M. Vogel, en Potsdam). Alcanzan con frecuencia 150 y 200.000 kilómetros de altura,, (3).

§ IV.—*Estudio particular de la atmósfera.*

181. EXISTENCIA DE LA ATMÓSFERA SOLAR.—El estudio que hemos hecho sobre las protuberancias prueba por una

(1) Desde 10.000 hasta 500.000 kilómetros. El P. Secchi observó una que medía 450.000: Young otra con cerca de 600.000.

(2) M. Trouvelot observó una que se alejaba del observador con una velocidad de 2.584 kilómetros por segundo, y que de pronto desapareció con la rapidez del relámpago.

(3) *Le Soleil et la Terre*. Artículo publicado en el *Boletín* de la Sociedad Astronómica de Francia. 1898, pág. 415.

parte el estado gaseoso de la cromoesfera y por otra indican la existencia en el Sol de una atmósfera gaseosa, esto es, de una capa compuesta de gases y vapores, que no difieren sustancialmente de aquellos que se encuentran en las capas inferiores.

La existencia de esta atmósfera se prueba además directamente, observando: 1.º, que la luz del Sol es tanto más intensa, cuanto procede de puntos más próximos al centro del disco, lo cual indica que ciertas radiaciones luminosas quedan absorbidas por la atmósfera solar; 2.º, que el espectro solar presenta rayas oscuras, lo cual demuestra que ciertos rayos luminosos quedan absorbidos por los vapores metálicos que constituyen la atmósfera del Sol, y 3.º, que en los eclipses totales de Sol la atmósfera se percibe directamente.

182. CORONA SOLAR.— Obsérvase en estos eclipses que el Sol se encuentra rodeado de unos filamentos brillantes, rayos y haces de luz divergentes, los cuales forman una capa concéntrica con el Sol y terminada en una aureola hermosísima de lúcidos rayos. Esta aureola llamada *corona* y también *atmósfera coronal*, con cuyo nombre la ha designado M. Janssen, afecta formas muy variables (*Fig. 128*), y se extiende por el espacio, alcanzando dimensiones asombrosas. Dice Gelion

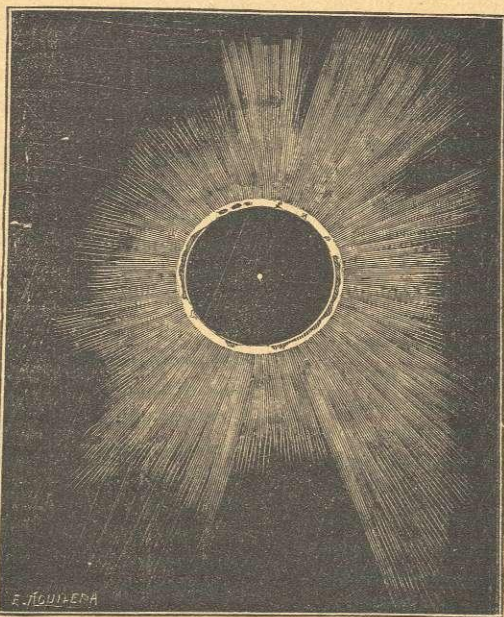


FIG. 128.— ATMÓSFERA Y CORONA SOLARES.

Towne que las medidas realizadas en los últimos eclipses de

Sol han probado que la distancia del borde del disco solar á la extremidad de la corona era superior á dos millones de kilómetros (1).

Dudóse algún tiempo entre los Astrónomos si la corona sería propia del Sol, ó un fenómeno de difracción; dudas que han desaparecido en vista de los datos aportados por la espectroscopia y la fotografía celestes.

El estudio del espectro de la corona ha demostrado que la raya mejor visible es la verde (correspondiente á la 1474 de Kirchhoff), la cual parece pertenecer á un elemento propio de la corona *coronium*, y que existen además otros elementos de los ya reconocidos en las demás capas ó envolventes solares.

El estudio de las fotografías obtenidas ha enseñado que las dimensiones y aspectos de la corona son muy varios; que lo mismo se extiende de E. á O. que de N. á S.; que parece tener relación con las manchas solares, y que las regiones más próximas al disco solar son más brillantes que las más remotas, las cuales concluyen por desaparecer en la oscuridad.

La corona, dice M. A. Hansky, pertenece al Sol. Es su atmósfera, como lo habia ya dicho Cassini, hay casi dos siglos. Consiste en un elemento desconocido *coronium* en las partes exteriores; en las partes más bajas se encuentran además el hidrógeno, el helium y el calcio. Su forma es muy variable, pero en general depende de la actividad del Sol (2).

ARTICULO IV.

ACTIVIDAD EXTERNA DEL SOL.

183. MODOS DE MANIFESTARSE LA ACTIVIDAD EXTERNA DEL SOL.—La acción del Sol no queda reducida á sí mismo, antes bien salva los espacios y se extiende de una manera admi-

(1) *Astronomie, Astrophysique...* tomo 1.º pág. 416.

(2) *Histoire de la Couronne Solaire.*—Artículo publicado en el Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia. 1898, pág. 348.

rable á todos los astros del sistema, manifestándose de dos modos por la *radiación* y por la *gravitación* ó *atracción*.

184. RADIACIONES LUMÍNICAS, TÉRMICAS Y QUÍMICAS.— La existencia y la influencia que ejercen las radiaciones lumínicas, térmicas y químicas solares en nuestro globo, así como en todos los astros del sistema solar es una verdad que no necesita demostración.

“Puede decirse, escribe el P. Secchi, que el Sol es el primer motor de que dependen todos los movimientos del sistema planetario, no solo en cuanto á la regularidad de las órbitas descritas por los astros, sino también respecto á todos los fenómenos físicos y fisiológicos que se verifican en su superficie,” (1).

Así, la acción lumínica, la acción térmica y la acción química, que producen los rayos del Sol en los astros que le circundan en su marcha por los espacios, hacen surgir en ellos bellezas que encantan al hombre, y ofrecen materia abundante para la meditación de los sabios.

Concretándonos á nuestro globo, la acción lumínica de los rayos solares nos permiten contemplar pájaros de pintadas plumas, flores de vistosos pétalos, cuerpos de diversos colores, encantadoras alboradas y melancólicos crepúsculos vespertinos. La acción térmica produce más ó menos directamente las corrientes atmosféricas, que impulsan nuestras naves sobre el mar; las lluvias, que fecundizan nuestros campos; las fuentes, que recrean nuestra vista y apagan nuestra sed; los ríos caudalosos, que permiten las transacciones y el comercio; las mieses, que llenan nuestros graneros, y el combustible, que almacenado durante siglos en el seno de la Tierra, alimenta nuestras máquinas y nuestros hogares. Por último la acción química combina el cloro con el hidrógeno y el oxígeno del aire con las sustancias orgánicas; descompone y ennegrece las sales de plata, de oro, de

(1) *El Sol*, tom. 2.º, pág. 322.

romo, etc., é influye en las dimensiones, en la forma y en el color de los vegetales.

Todas estas radiaciones, su intensidad, su valor y sus influencias, se estudian por Astrónomos y Físicos; estudio y experiencias notabilísimas, pero que aquí no podemos ni enumerar.

185. RADIACIONES MAGNÉTICAS.—No está todavía suficientemente determinado si el Sol influye directamente ó tan solo indirectamente en el magnetismo terrestre, pero está al abrigo de toda duda la existencia de este influjo. Compruébalo entre otros fenómenos la íntima relación que existe entre las oscilaciones de la aguja imantada y el Sol; puesto que los máximos y los mínimos de las oscilaciones diurnas de dicha aguja coinciden con los máximos y los mínimos de las manchas visibles sobre el Sol y, cosa digna de ser notada, con los máximos y los mínimos de las auroras boreales.

186. RADIACIONES ELÉCTRICAS.—Algunos Astrónomos han visto una prueba de las radiaciones eléctricas del Sol en la dirección que toman las *colas* de los cometas, cuando estos astros están próximos al Sol. Dichas colas se alargan del lado allá del núcleo del cometa en la prolongación de la línea que une el Sol con el núcleo mencionado, lo cual es debido según estos Astrónomos á repulsiones eléctricas, procedentes del Sol.

No estando ya separadas, leemos en el Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia (1), las longitudes de onda de las oscilaciones eléctricas de las de los rayos infra-rojos más que por una laguna insignificante, probablemente llamada á desaparecer después de los recientes descubrimientos de Hertz y de sus sucesores, se puede decir *a priori* que la existencia de las radiaciones eléctricas que emanan del Sol es verdadera. Para demostrar su realidad, es necesario recurrir á la experiencia: esto es lo que se hace por los Se-

(1) 1898, pág. 500.

ñores Wilsing y Scheiner del Observatorio de Astronomía física de Potsdam.

Estos sabios han empleado un aparato fundado sobre la curiosa propiedad de las oscilaciones eléctricas señalada por vez primera por M. Lodge, la disminución de resistencia que ellas producen en el punto de contacto de dos metales.

187. TEMPERATURA DEL SOL: CONSERVACIÓN DE LAS ENERGÍAS SOLARES.—El problema relativo á la temperatura del Sol es uno de los más difíciles de la física solar. No basta en efecto exponer un termómetro al Sol y, leyendo en él el número de grados, aumentarlo proporcionalmente al cuadrado de la distancia, porque, como dice el P. Secchi: 1.º, el número observado se refiere á nuestro cero convencional, como correspondiente á la temperatura del hielo fundente, y no tiene ninguna relación con el cero absoluto, marcado por los Físicos á los 273º, 6; 2.º, las radiaciones solares llegan hasta nosotros á través de la atmósfera y sufren á su paso una absorción, que es necesario tener en cuenta; 3.º, además de la radiación solar, el termómetro expuesto recibe las radiaciones de los cuerpos que le rodean, circunstancia que complica notablemente el problema.

Estas dificultades con que se tropieza al querer evaluar la temperatura del Sol, explica de algún modo las distintas opiniones y resultados obtenidos por los Astrónomos, á pesar de emplear aparatos particulares.

El P. Secchi, escribe el P. Müller, por medio de aparatos especiales (pirométricos) encontró una temperatura de cinco millones de grados; Zöllner con un método diverso y aplicando la fórmula de la teoría mecánica del calor encontró una temperatura de 40 á 75 mil grados.

M. W. E. Wilson (1), astrónomo en Daramona, ha estudiado la radiación de las diferentes partes de la superficie solar, empleando un gran heliostato y un radio-micrómetro de Boys. El ha encontrado que la radiación del núcleo de las manchas es 0'356 de la radiación de la foto-esfera á la misma distancia del centro del Sol. Durante los años 1874 y 1875, M. Langley había hecho un estudio semejante que le

(1) *Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.*—1898, pág. 278.

había suministrado un coeficiente mucho mayor, $0'54 \pm 0'05$.

Las experiencias efectuadas por los Sres. W.-E. Wilson y P.-L. Gray les han dado para la temperatura del Sol la cifra de 6.200 grados centígrados.

Indica lo consignado lo poco que se sabe sobre la temperatura del Sol, y lo mismo puede decirse respecto de la presión que experimentan las capas solares. Según Zöllner, esta presión es de 184.000 atmósferas en la superficie y de 5 millones en el interior.

El estudio de las radiaciones solares engendra la idea de si el globo solar concluirá por enfriarse lo suficiente para dejar de ser luminoso y llegar á solidificarse.

Cuestión es esta sumamente difícil

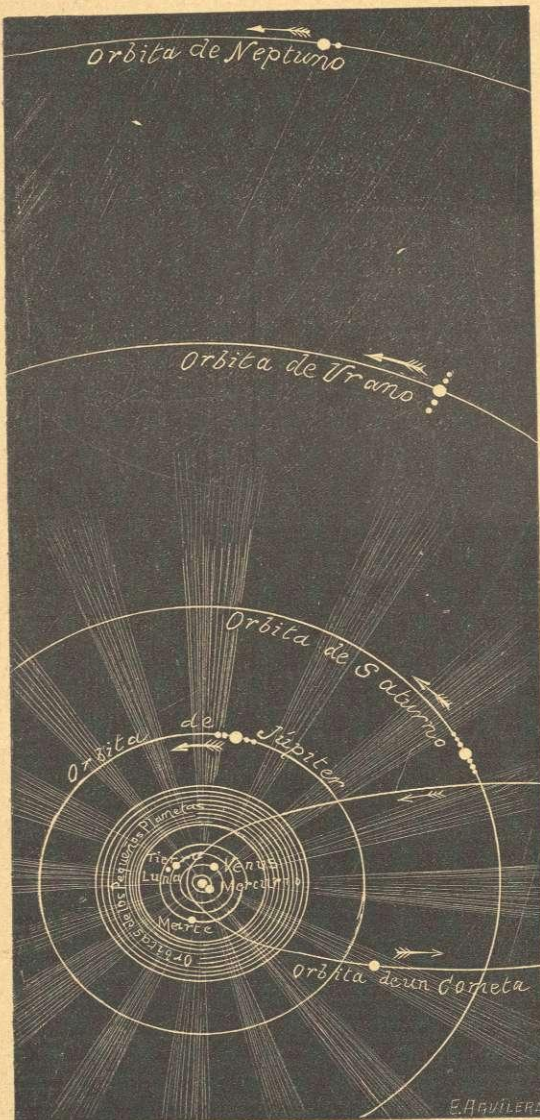


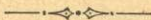
FIG. 129—SISTEMA SOLAR.

cil y bien puede decirse que aún no está resuelta. Por una

parte, así parece que debe suceder, habida consideración á las opiniones dominantes entre los Astrónomos respecto de la formación del Universo. Sin embargo, hemos de advertir que hay varios fenómenos que compensan, sino por completo, al menos en parte las pérdidas de energía que constantemente experimenta el Sol. Tales son entre otras, los bólidos y aerolitos que deben de caer sobre su superficie; las reacciones químicas que se efectúan en su interior, y las contracciones de su masa, que pueden considerarse como precipitados de materia sobre su superficie.

188. EL SOL CENTRO DE FUERZA Y DE ATRACCIÓN DE LOS ASTROS QUE COMPONEN EL SISTEMA SOLAR.—La actividad de nuestro Sol se manifiesta también al exterior, como atracción ó gravitación. Un gran número de astros (*Fig. 129*) giran á su alrededor en virtud de la atracción que él ejerce sobre ellos. Esta atracción se efectúa con arreglo á la ley de Newton (núm. 20) y los astros atraídos ejecutan sus movimientos en conformidad con las leyes de Kepler (núm. 19). Estos astros son, como ya hemos dicho en varios lugares los Planetas con sus Satélites, los Cometas y uno ó más anillos de materia cósmica, invisibles para el hombre, pero cuya existencia se le manifiesta por los meteoros cósmicos. El estudio de estos astros es el que hacemos en las secciones 2.^a y 3.^a de esta segunda parte.

SECCIÓN SEGUNDA



PLANETOLOGIA

Estudiado el astro central del sistema solar ó sea el Sol, en la sección anterior, pasamos ahora á examinar los Planetas y con ellos sus Satélites.

CAPÍTULO I

NOCIONES GENERALES

189. SIGNIFICACIÓN ACTUAL DE LA PALABRA PLANETA. — La palabra *planeta* significa actualmente en la Ciencia Astronómica, como se habrá observado en varios puntos que de ellos hemos hablado, un astro, que presenta un disco sensiblemente circular, que recibe y refleja la luz del Sol y que se mueve inmediatamente alrededor de este astro, describiendo una elipse, de la cual ocupa el Sol uno de los focos.

Estos planetas, llamados *primarios*, son los siguientes, enumerados por orden de sus distancias al Sol: Mercurio,

Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Por sus magnitudes son: Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno, la Tierra, Marte, Venus y Mercurio.

Los signos con que se representan son: Mercurio, ♿; Venus, ♀; la Tierra, ♂; Marte, ♂; Júpiter, ♃; Saturno, ♄; Urano, ♅ y Neptuno, ♆.

190. DIVISIÓN DE LOS PLANETAS.—Los planetas suelen dividirse en *interiores* ó *inferiores* y *exteriores* ó *superiores*. Los primeros son aquellos cuyas órbitas están comprendidas dentro de la de la Tierra: Mercurio y Venus. Los segundos son aquellos cuyas órbitas comprenden la de la Tierra: Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

191. SATÉLITES.—Suelen dividirse también los planetas en *primarios* y *secundarios*. Los primarios son los ocho de que hemos hablado; los secundarios son unos astros que giran inmediatamente alrededor de los planetas primarios y con ellos alrededor del Sol; se llaman *Satélites*. La Tierra tiene uno que es la Luna, Marte 2, Júpiter 5, Saturno 8, y un triple anillo que le rodea, sin tocarle, Urano 4 y 1 Neptuno.

192. PLANETOIDES Ó PEQUEÑOS PLANETAS.—Se llaman *planetoides* ó *pequeños planetas* un gran número de astros (más de 400) en general de pequeñas dimensiones, que giran inmediatamente alrededor del Sol, y cuyas órbitas están comprendidas entre las de Marte y Júpiter.

193. ÓRBITA DE LOS PLANETAS: SU DETERMINACIÓN.—Llámase *órbita de un planeta* la trayectoria ó curva que describe alrededor del Sol.

Su determinación se hace por el método indicado para la aparente del Sol alrededor de la Tierra. Sobre un globo ó mapa celeste se marcan cada día la ascensión recta y la declinación del planeta y después se unen por una línea los puntos marcados.

Cuando por este método se determina toda ó parte de la órbita de un planeta, se nota que el movimiento de estos astros no es siempre *directo*, antes bien, en unas ocasiones *parecen estacionarse*, y en otras moverse en sentido *retrógrado* (núm. 151). Así se obtienen para sus órbitas unas curvas particulares (*Fig. 130*).

Haciendo por ahora abstracción de estas *apariencias*,

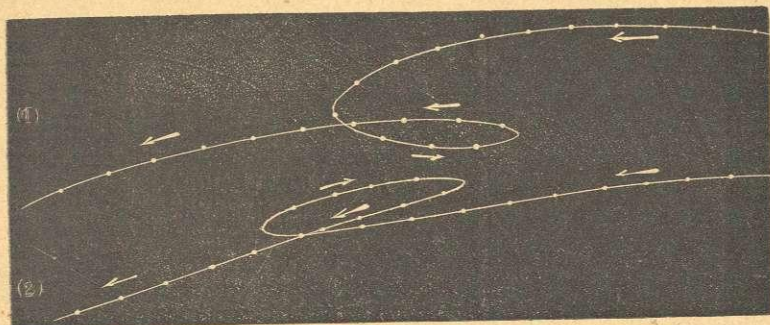


FIG. 130.— TRAYECTORIAS DE VENUS Y MARTE.

que más adelante explicaremos, la órbita obtenida en el globo ó mapa celeste tiene la forma de un círculo máximo que corta á la eclíptica en dos puntos, y por consiguiente, que forma con ella un ángulo.

Este círculo máximo es la proyección de la órbita del planeta sobre la esfera celeste: la forma de esta órbita es una elipse, de la cual ocupa el Sol uno de los focos, y los planetas las describen con arreglo á las leyes de Kepler (número 19).

Los puntos en que las órbitas de los planetas, prolongados hasta la esfera celeste cortan á la eclíptica se llaman *nodos*; *ascendente*, aquel en que el planeta pasa del hemisferio austral al boreal; *descendente*, el opuesto: *línea de los nodos*, la línea que los une, y que es la intersección del plano de la órbita del planeta con el plano de la eclíptica.

Llámase *perihelio* el punto de la órbita en que el planeta se encuentra *más próximo* al Sol; *afelio*, aquel en que se encuentra *más distante*.

Se dá el nombre de *elongación de un planeta* á la dife-

rencia de longitud entre el planeta y el Sol, vistos desde la Tierra. En virtud de esta elongación y considerados *en general*, los planetas pueden estar en *conjunción*, en *oposición* y en *cuadratura* (núm. 85).

194. ELEMENTOS DE LAS ÓRBITAS DE LOS PLANETAS.— Llámase por los Astrónomos *elementos de las órbitas de los planetas* los datos necesarios y suficientes para determinar la posición de estos astros en un momento dado. Son los siguientes:

1.º *Inclinación de la órbita sobre la eclíptica*, ó sea, el ángulo que forman estos dos planos.

2.º *Longitud del nodo ascendente*, ó sea, la posición de la línea de los nodos.

3.º *Semieje mayor*, ó sea, la distancia media del planeta al Sol.

4.º *Excentricidad*, ó sea, la relación que existe entre la distancia del foco al centro de la elipse y el semieje mayor de la misma elipse.

5.º *Longitud del perihelio*, ó sea, la posición de uno de los extremos del eje mayor de la elipse.

6.º *Tiempo empleado por el planeta en describirla*.

Si á estos seis elementos se agrega el lugar ocupado por un planeta en su órbita en un momento dado, se tendrá perfectamente determinada la posición de dicho planeta en el espacio.

195 EFEMÉRIDES DE LOS PLANETAS: PARALAGE DE ALTURA.—*El Almanaque Náutico* dá para cada día del año las coordenadas ecuatoriales y eclípticas de los planetas, la paralage horizontal, el semidiámetro, el logaritmo del radio vector, el de la distancia verdadera de la Tierra, etc., etcétera. Con estos datos se pueden encontrar con gran facilidad los planetas sobre la esfera celeste, y determinar su distancia á la Tierra.

El *Conocimiento de los Tiempos* añade una *Tabla* con el valor de la paralage de los planetas, para distintos grados de altura, con cuyo dato es muy facil corregir los efectos de la paralage en las observaciones planetarias.

196. PERTURBACIONES PLANETARIAS: SU DIVISIÓN. — El estudio de las *perturbaciones planetarias*, como el de las *lunares* y *cometarias*, es sin duda alguna de los más complicados de la Ciencia Astronómica, exigiendo en el que trate de abordarlo de frente, conocimientos profundos de *Matemáticas Superiores*. Por esta razón, solo agregaremos aquí á lo dicho en el número 22, que dichas perturbaciones suelen dividirse en *periódicas* y *seculares*. Las primeras tienen lugar en un espacio de tiempo relativamente corto, por ej., un siglo: las segundas se verifican en millares de años. Esta división que, como se vé, es puramente externa, es de gran importancia, para el planteamiento y resolución de los cálculos matemáticos.

CAPITULO II.

LA TIERRA

Al estudiar los planetas en particular, damos la preferencia á la Tierra, por ser el que nosotros habitamos y, por lo tanto, el que más nos interesa conocer. Supuesto el conocimiento de las nociones, que dimos de nuestro globo en la Introducción, pasamos desde luego á su estudio.

ARTÍCULO I.

COORDENADAS TERRESTRES

197. EJE, PLANOS Y CÍRCULOS DEL GLOBO TERRESTRE.— Siendo la esfera celeste una esfera concéntrica con el globo de la Tierra, se comprende fácilmente que el eje, los planos y los círculos de la primera determinarán por su intersección con el segundo los mismos círculos, planos y eje.

Esto supuesto, se llama *eje de la Tierra*, la línea sobre la cual gira. Es la intersección del eje del mundo con el globo terrestre. *Polos de la Tierra* son los extremos de su eje; *boreal*, *ártico* ó *del Norte* el que está situado del lado del polo Norte del mundo; *austral*, *antártico* ó *del Sud*, el opuesto. *Ecuador terrestre* es el círculo máximo perpendi-

cular al eje de la Tierra: divide á ésta en dos partes iguales ó hemisferios, que también se llaman *boreal* y *austral*. *Trópicos* son dos círculos mínimos, paralelos al ecuador y del cual distan unos $23^{\circ} 27'$: llámase *de Cáncer* el del hemisferio boreal, y *de Capricornio* el del austral. *Círculos polares* son dos círculos mínimos paralelos también al ecuador y que distan de sus polos respectivos unos $23^{\circ} 27'$: se llaman *ártico* ó *antártico*, según el hemisferio en que se encuentran. Por último, *meridiano geográfico* de un punto de la Tierra es el círculo máximo que pasa por los polos y por el punto dado: divide la Tierra en dos hemisferios, *oriental* y *occidental*.

198. ZONAS TERRESTRES.—El ecuador, los trópicos y los círculos polares dividen la Tierra en cinco zonas. *Zona tórrida*: es la parte de la Tierra comprendida entre los dos trópicos. *Zonas templadas*: son las partes de la Tierra que en uno y otro hemisferio se encuentran entre el trópico y el círculo polar respectivo. *Zonas glaciales*: son las partes de la Tierra que en uno y otro hemisferio se extienden desde el círculo polar hasta el polo.

199. LONGITUDES Y LATITUDES GEOGRÁFICAS.—Así como cada astro tiene su máximo de ascensión y su paralelo de declinación, así también cada punto de la Tierra tiene su meridiano y su paralelo de latitud. Llámense *paralelos de latitud* los círculos menores del globo terrestre paralelos al ecuador.

Esto supuesto, se llama *longitud geográfica* de un lugar el arco del ecuador terrestre, contado desde un meridiano fijo, que recibe el nombre de *primer meridiano*, hasta el punto en que corta al ecuador el meridiano de dicho lugar. Así, si el lugar dado es L (*Fig. 131*), su longitud será el arco EM. Se comprende también, observando la figura, que la longitud de un lugar pudiera definirse el ángulo diedro, que forman el meridiano del lugar y el primer meridiano. Las longitudes geográficas se cuentan de 0° á 180° á uno y otro lado del primer meridiano. Para distinguirlas entre sí, se denomina longitud *oriental* la contada hacia el E., y *occidental*, la que se cuenta hacia el O.

Latitud geográfica de un punto dado es la distancia que hay de dicho punto al ecuador terrestre, medida en su meridiano. Así, la latitud del punto L es el arco LM. Es fácil concebir que la latitud pudiera también definirse el ángulo formado en el centro de la Tierra por el radio terrestre que pasa por el punto dado y su proyección sobre el ecuador. Las latitudes geográficas se cuentan de 0° á 90° á partir del Ecuador y en dirección á los polos. Se distinguen unas de otras, llamando latitud N. á la contada hácia el polo boreal, y latitud S. á la que se cuenta hácia el austral.

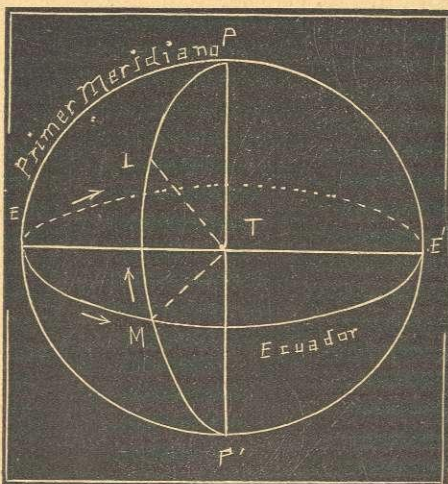


FIG. 131.—LONGITUDES Y LATITUDES GEOGRÁFICAS.

Es evidente, y no insistimos más en ello, que la longitud EM y la latitud ML determinan con toda exactitud la posición del punto L sobre la Tierra, puesto que la primera dá el semicírculo máximo y la segunda el punto de este semicírculo en que se encuentra el punto dado.

200. EXPRESIÓN DE LAS LONGITUDES EN TIEMPO.—Lo que dijimos en el número 81, al indicar cómo habían de expresarse en tiempo las ascensiones rectas, nos excusa de hacer aquí nuevas explicaciones, puesto que el procedimiento es el mismo.

201. PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LAS LONGITUDES GEOGRÁFICAS.—Lo dicho en el número anterior indica suficientemente que la medida de las longitudes geográficas se reduce á observar *la diferencia de hora* en un momento dado entre el

primer meridiano y el del lugar, cuya longitud se desea determinar. Esta diferencia de hora puede obtenerse por varios procedimientos, entre los cuales son los más usados los siguientes:

1.º *El del cronómetro.*—Regulando un buen cronómetro por la hora del primer meridiano, es claro que donde quiera que se lleve este cronómetro, se tendrá la hora del primer meridiano. Averiguando la hora local, la diferencia entre esta y la que marque el cronómetro dará la longitud geográfica que se busca. Cuando se emplea este procedimiento, suele llevarse un gran número de cronómetros, con el objeto de obtener la mayor exactitud posible (1).

2.º *El de la telegrafía eléctrica.*—Consiste sencillamente en transmitir por medio del telégrafo eléctrico al lugar cuya longitud se desea determinar y en el momento preciso la hora del primer meridiano. Dada la rapidez de la comunicación telegráfica directa este procedimiento se emplea con buen éxito. Suele llamarse *americano*, porque los Astrónomos de los Estados Unidos fueron los primeros en emplearlo, para determinar las longitudes de sus observatorios y puertos. Con el fin de obtener mayor exactitud se emplea el *cronógrafo* ó sea, un aparatito, que á semejanza del telégrafo de Morse, deja escrita en la estación receptora la hora de la estación transmisora (2).

3.º *El de las observaciones astronómicas.*—Consiste en observar un fenómeno celeste y anotar la hora que es en el

(1) Para hacer uso de un cronómetro en las observaciones, han de tenerse presentes dos cosas, á fin de hacerlas correcciones debidas: su *estado absoluto* y su *movimiento*. Llámase *estado absoluto* de un cronómetro la diferencia de horas que existe entre la que marca el cronómetro y la que se cuenta de tiempo medio en el meridiano de las tablas: *movimiento* del cronómetro es aquella cantidad *constante* que diariamente atrasa ó adelanta.

(2) Este procedimiento ha sustituido con ventaja al antiguo de las *señales de fuego*: consistía éste, en quemar un objeto inflamable, como la pólvora, en un punto visible, desde los dos lugares cuya diferencia de hora se pretendía conocer.

primer meridiano y en el del lugar de la observación, al verificarse dicho fenómeno: la diferencia de hora, que se obtenga, será la longitud que se busca. La hora del primer meridiano, correspondiente al fenómeno que se observa la dan las efemérides. (Almanaque Náutico, Connaissance de Temps, etc.)

Dan estas efemérides todos los datos necesarios para encontrar la longitud de un punto, por medio de la observación de los siguientes fenómenos celestes: *la culminación de la Luna*, ó sea, el paso del centro de la Luna por el meridiano superior; las *distancias lunares*, esto es, las distancias angulares del centro de la Luna al centro del Sol, al de los planetas más visibles (Venus, Marte, Júpiter y Saturno), y á nueve estrellas principales (α Arietis, Aldebaran, Pollux, Régulo, la Espiga, Antares, Altair, Fomalhaut y α Pegasi); los *eclipses* de los satélites de Júpiter, y las *ocultaciones* de los planetas ó estrellas por la Luna.

Siendo un poco larga la exposición del modo de hacer estas observaciones y efectuar los cálculos necesarios, nos limitaremos á decir que el primero es uno de los más fáciles y además de los más exactos, por la rapidez del movimiento de la Luna en ascensión recta (1).

202. PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LAS LATITUDES GEOGRÁFICAS.—La determinación de la latitud geográfica de un punto dado es un problema de fácil resolución. Probemos en primer lugar que dicha latitud es igual á la altura del polo en él mismo punto.

(1) Para encontrar la longitud por cualquiera de estos fenómenos celestes se necesita una de las efemérides mencionadas, aparatos especiales (instrumentos meridianos, theodolito, altazimut, sextante), y efectuar los cálculos.—El *Tratado de Cosmografía* del P. Cappa, *Cours d'Astronomie et de Navigation* de E. Dubois; *Astronomie, Astrophysique.... pratique* de Gelion Towne, son obras que se consultarán con fruto sobre este punto.

Sea L (Fig. 132) el punto de la Tierra; Z su zenith; HH' su horizonte racional; PP' el eje del mundo y de la Tierra, y EE' el ecuador. Según la definición que hemos dado de latitud, su valor para el punto L será el arco LE' , ó el ángulo LOE' . Ahora bien; el ángulo LOE' es complemento del LOp , y este lo es también del HOp . Mas el ángulo HOp es la altura del polo sobre el horizonte; luego la latitud y la altura del polo, que tienen el mismo complemento, son iguales.

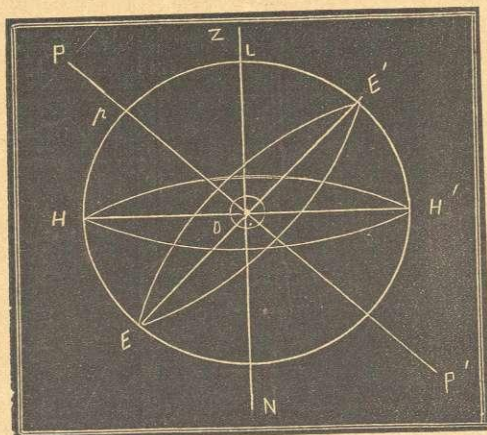


FIG. 132.— IGUALDAD ENTRE LA LATITUD Y LA ALTURA DEL POLO.

Observando ahora que la altura del polo (núm. 108) es complemento de la distancia zenital del mismo polo; igual á la distancia zenital del ecuador, y complemento de la altura de este último círculo sobre el horizonte, se comprende que la latitud LE' de un lugar L es también complemento de la distancia zenital pL del polo; igual á la distancia zenital LE' del ecuador, y complemento de la altura $E'H'$ de este círculo sobre el horizonte.

Esto supuesto, el problema de determinar la latitud geográfica de un punto de la Tierra se reduce á medir la altura del polo en el mismo punto (1), ó á determinar cualquiera de los otros datos enumerados por medio de observaciones astronómicas. Así, la altura del ecuador sobre el horizonte y la distancia zenital del polo pueden obtenerse, midiendo la altura, ó la distancia zenital de un astro á su

(1) Véase el número 108, donde hemos indicado cómo se determina la altura del polo.

paso por el meridiano y combinándola con la declinación, ó la distancia polar del mismo astro.

Ejemplo.—Se ha medido la altura de Aldebaran, al pasar por el meridiano de un punto y se ha obtenido el valor $68^{\circ} 55' 52''$, 2. (1).—¿Cuál es la latitud geográfica del lugar de la observación?—Datos: Altura observada= $68^{\circ} 55' 52''$, 2.—Distancia zenithal= $90^{\circ} - (68^{\circ} 55' 52'', 2) = 21^{\circ} 4' 7''$, 98.—Declinación de Aldebaran= $+ 16^{\circ} 18' 30''$, 2.—Distancia polar = $90^{\circ} - (16^{\circ} 18' 30'', 2) = 73^{\circ} 41' 29''$, 98. Así, pues,

Altura observada.	68° 55' 52," 2
Declinación	16° 18' 30," 2
Altura del ecuador sobre el horizonte.	52° 37' 22," 0
Distancia polar	73° 41' 29," 98
Distancia zenithal	21° 4' 7," 98
Distancia zenithal del polo	52° 37' 22," 00

Latitud geográfica pedida = $90^{\circ} - (52^{\circ} 37' 22'') = 37^{\circ} 22' 38''$.

Latitud = 90° - Altura del merid. Declinación - Refracción

203. ANTÍPODAS, PERIECOS Y ANTECOS.—Se llaman *antípodas* dos puntos de la Tierra, situados en los dos extremos de un mismo diámetro: *periecos* dos puntos situados en el mismo paralelo, pero en longitudes opuestas: *antecos* dos puntos situados en el mismo meridiano y que tienen la misma latitud, pero opuesta.

204. PRIMER MERIDIANO.—Hemos dicho (núm. 199) que se llama primer meridiano, el que se toma como punto de partida para contar las longitudes geográficas. Durante mucho tiempo consideróse como primer meridiano en todas las na-

(1) La suponemos corregida de los efectos de la refracción.—Si se observan el Sol, la Luna ó los planetas, además de la refracción es necesario corregir la paralage de altura y el semidiámetro.—Cuando la declinación es *austral* se suma á la altura observada.

ciones europeas el de la Isla de Hierro (Canarias). Posteriormente cada Nación ha adoptado el suyo, como puede verse por el siguiente cuadro.

Nación.	Primer meridiano.	Nación.	Primer meridiano	Nación.	Primer meridiano.
Rusia	Pulkowa	Francia	París	Méjico	Méjico
Austria	Viena	España	Madrid (1)	Ecuador	Quito
Alemania	Berlín	Inglaterra	Greenwich	Chile	Santiago
Italia	Roma	Estados-Unidos	Washington	Perú	Lima.

205. HORA NACIONAL Ó LEGAL EN UN PUNTO DADO.—La cuestión sobre el primer meridiano está íntimamente unida con la referente á uniformar la hora, cuanto sea posible, en toda la Tierra. Para conseguirlo se ha propuesto el siguiente sistema, adoptado ya por algunas Naciones, así de Europa como de Asia y América. La superficie de la Tierra se divide en 24 partes, llamadas *husos horarios*. Todos los países comprendidos dentro de un huso horario determinado tienen por *hora legal* la correspondiente á este huso. El punto de partida ó primer meridiano es el de Greenwich, que pasa por el centro del primer huso horario; por consiguiente los países comprendidos dentro de este huso marcan en el mismo momento la hora de tiempo medio del meridiano de Greenwich: esta hora se llama *hora de la Europa Occidental*.

El huso siguiente yendo hácia el E., y el cual adelanta *exactamente* una hora sobre la de Greenwich, marca la *hora de la Europa central*. El siguiente que adelanta dos horas, la *de la Europa Oriental*. Así se continúa para los 24 husos y para los países en ellos comprendidos.

También se relaciona con estas cuestiones la del modo de contar las horas. Se desea que las horas de tiempo civil se cuenten de 0^h á 24^h seguidas (2), modo de contar que ya han adoptado también varios Estados.

(1) Es también de gran importancia el de S. Fernando, donde, como hemos dicho, se calcula el Almanaque Náutico. Los marinos españoles reputan como primer meridiano el de este Observatorio.

(2). Véase el número 115.

ARTÍCULO II.

FIGURA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA.

206. PUNTO DE PARTIDA PARA DETERMINAR LA VERDADERA FIGURA DE LA TIERRA. — Hemos probado en el capítulo 2.º de la Introducción la redondez de la Tierra. Para determinar su verdadera figura es necesario acudir á nuevos procedimientos. Supóngase: 1.º, que se han determinado con toda exactitud dos puntos de la superficie terrestre que tienen la misma longitud, esto es, que se encuentran en el mismo meridiano, y cuya diferencia de latitud es un grado; 2.º, que se ha medido el valor de este grado de meridiano, y 3.º, que la operación se ha repetido varias veces en países de distintas latitudes. Se comprende con facilidad que, si el grado medido tiene en todas partes el mismo valor, la figura de la Tierra será la de una esfera perfecta; por la inversa, si las medidas obtenidas son diferentes, dicha figura se aproximará mas ó menos á la de una esfera, pero no será perfectamente esférica. El punto de partida, pues, para determinar la verdadera figura de la Tierra, es la medida del arco de un grado de meridiano.

Así se ha comprendido en todo tiempo y por esta razón Eratóstenes midió un arco de meridiano entre Siena y Alejandría (250 años a. de J.C.). Posidonio en la isla de Rodas, los Arabes en la Mesopotamia, y Fernel en Francia midieron también un arco de meridiano, asignando á la Tierra cada uno figura y dimensiones especiales.

Según el P. Müller el Matemático holandés Willebrord Snellius fué el primero que introdujo el procedimiento de *triangulación*, para efectuar la medida de que hablamos, procedimiento que se ha seguido por Picard, y por todos los Astrónomos y Geodestas modernos.

Se comprenderá la importancia de este nuevo procedimiento, si se tiene en cuenta que la superficie de la Tierra no permite medidas directas sobre el terreno, á causa de los

rios, montañas etc. Vamos á dar una ligera idea de cómo se efectúa esta triangulación.

207. MEDICIÓN DEL ARCO DE UN GRADO DE MERIDIANO POR UNA TRIANGULACIÓN.—Sea AZ (Fig. 133) el arco de meridiano que se quiere medir. Se escogen varios puntos B, C, D, E,

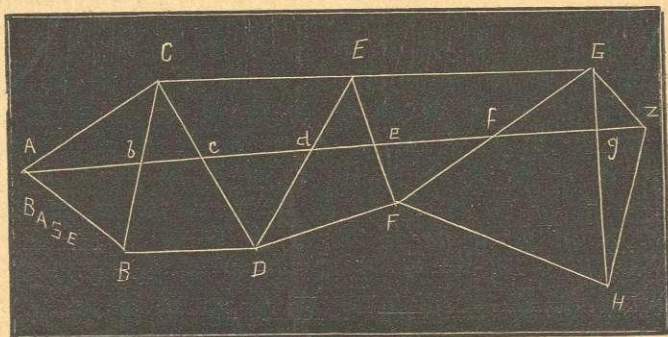


FIG. 133.—MEDICION DE UN GRADO DE MERIDIANO.

F, G y H, á uno y otro lado de dicho meridiano, visibles B y C desde A, C y D desde B, B y D desde C, C y E desde D, C y D desde E y así sucesivamente. Se forman por líneas visuales los triángulos ABC, CBD, DCE, EDF, FEG, GFH y HGZ. Como se observa en la figura, las líneas BC, CD, DE, EF, FG y GH cortan el arco del meridiano AZ, en los puntos *b*, *c*... *g*.

Esto supuesto, se mide con toda exactitud sobre el terreno la línea AB, que se llama *base*, lo cual es fácil, puesto que se puede escoger el punto B á voluntad. Se miden con un instrumento los ángulos CAB y ABC, con lo cual el triángulo ABC queda perfectamente determinado, puesto que se conocen un lado y dos ángulos adyacentes. Se resuelve este triángulo y así se obtiene el valor del lado BC. Hecho esto se traza por A y en la dirección *Ab* la meridiana, y se mide el ángulo *bAB*. Con este nuevo dato el triángulo *ABb* queda determinado. En efecto se conocen en él el lado AB, medido anteriormente y los ángulos $ABb = ABC$ y *bAB*: resolviéndolo,

se obtiene el valor de los lados Ab y Bb y el del ángulo $A\hat{b}B$.

Efectuadas las dichas operaciones, se miden en el triángulo siguiente CBD los ángulos en C y en B , con lo cual tenemos este triángulo también determinado, puesto que en él se conocen el lado BC y los dos ángulos adyacentes C y B . Se resuelve y se anota el valor del lado CD . Pero obsérvese que también está determinado el triángulo Cbc . En efecto, se conocen el ángulo $bCc = BCD$; el lado $Cb = BC - Bb$, y el ángulo $Cbc = A\hat{b}B$: resolviéndolo, se hallarán el valor de bc , de Cc y del ángulo Ccb . Conocidos los valores de Ab y bc , no hay más que sumarlos, para obtener el de Ac . Continuando de la misma manera hasta llegar á Z , queda medido todo el arco de meridiano AZ .

Las nociones expuestas indican suficientemente lo esencial del procedimiento de *triangulación* para medir un arco de meridiano. Para llevarlo á la *práctica*, son necesarios otros datos y pormenores que no caben en los límites de estas Nociones.

208. RESULTADOS OBTENIDOS: FORMA DE UN MERIDIANO. FIGURA DE LA TIERRA.—Aparte de Picard, que en el siglo XVII obtuvo medidas bastante exactas, con las cuales dió á Newton (número 20) la base para el descubrimiento de la gravitación universal, el arco de un grado de meridiano ha sido medido en un gran número de países; á saber: en el Perú, en la India, en Francia y España, en Italia, en Inglaterra, en Prusia, en Rusia, en la Lajonia, etc. El cuadro siguiente indica los resultados obtenidos. La unidad es la *toesa del Perú* equivalente á 1,949'04 metros.

PAISES	Latitud media N.	Long. del arco de 1.º
Perú	1º, 31' 1"	56.736 ^t , 81
India	12 32 21	56.762, 30
España y Francia	46 8 6	57.024, 64
Inglaterra	52 2 80	57.066,
Lajonia	66 20 10	57.196,

Los datos que presenta el cuadro anterior, indican que el arco de un grado de meridiano, aumenta con la latitud,

esto es, á medida que el observador se separa del ecuador y se acerca al polo. Dedujo de este hecho Bernardino de Saint-Pierre que la Tierra debía ser más ensanchada por los polos que por el ecuador, puesto que, decía, á mayor grado mayor circunferencia y á mayor circunferencia mayor radio. Ahora bien; el mayor grado se ha encontrado hacia el polo; luego también el mayor radio. Esta deducción estaría bien hecha, si las normales á los distintos puntos de una elipse, concurriesen todas en su centro; más como esto no es así, la deducción no es lógica. Los grados del meridiano son mayores á medida que se acercan al polo, siendo su forma la de una elipse; por consiguiente, la verdadera figura de la Tierra es la de un *elipsoide de revolución* aplanado por los polos y ensanchado por el ecuador (1).

Hemos de hacer notar que, así como las irregularidades de la superficie sólida de la Tierra no destruyen su redondez, de la misma manera estas irregularidades y otras que encuentran los Astrónomos y Geodestas, al medir y comparar los valores de distintos grados entre sí, y que son debidas á la atracción que ejercen las montañas sobre los mares próximos, plomada, etc., tampoco destruyen la figura *elipsoidal aplanada* de la Tierra.

209. ACHATAMIENTO DE LA TIERRA: SU VALOR.—Se llama *achatamiento de la Tierra* la relación que existe entre la diferencia del radio mayor y menor de la Tierra y el radio mayor. Los Astrónomos suelen emplear la palabra *semieje* en vez de la palabra *radio*, pero su significación es la misma. Así, si designamos por *a* el *semieje* mayor y por *b* el menor, el achatamiento estará representado por $\frac{a - b}{a}$

Basándose Mr. Faye sobre las medidas efectuadas en

(1) Se llama *elipsoide de revolución* el cuerpo engendrado por una elipse, que gira alrededor de su eje menor.

arcos de distintos meridianos encuentra los valores siguientes: (1).

Semieje mayor ó radio ecuatorial.	6' 378. 393 ^m ± 79 ^m
Semieje menor ó radio polar	6' 356. 549 ^m ± 109 ^m
	1
Achatamiento	292 ± 1

210. DIMENSIONES DE LA TIERRA.—Adoptando los valores dados por Mr. Faye, dice el citado Anuario, se encuentran para las dimensiones de la Tierra los datos siguientes:

Cuadrante del meridiano elíptico	10' 002. 008 ^m
Longitud media del arco de un grado del meridiano.	111. 133 ^m , 4
Circunferencia ecuatorial.	40' 076. 625 ^m
Superficie en kilómetros cuadrados	510' 082. 000
Volumen en millones de kilómetros cúbicos	1' 083. 260
Radio de una esfera de igual volumen que la Tierra	6' 371. 103 ^m
Radio de una esfera de igual superficie que la Tierra	6' 371. 109 ^m

211. VALOR DEL METRO LEGAL.—Se define ordinariamente el *metro*, *base*, como se sabe, *de todo el sistema métrico*, diciendo que es, la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre. Cuando se estableció el sistema métrico las medidas geodésicas daban para todo el cuadrante del meridiano el valor de diez millones de metros. Si se observa el valor que hoy se le asigna, y que está consignado en el número anterior, se deducirá que la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre es próximamente 0^m, 0002 mayor que el metro legal.

212. GRAVEDAD: SUS DIVERSOS VALORES.—El principio de Newton sobre la atracción es universal, cumpliéndose lo

(1) *L' Annuaire du Bureau des Longitudes*, de donde tomamos estos datos, advierte que podrán experimentar algunas variaciones, aunque muy débiles, cuando se tengan en cuenta los arcos medidos en los Estados Unidos y los arcos de paralelo obtenidos en Europa.

mismo entre los astros que entre las moléculas de un cuerpo. Se llama *gravitación* la atracción que ejercen unos astros sobre otros; *gravedad* la que la Tierra ejerce sobre los cuerpos situados en su superficie (núm. 8), y *atracción molecular* la que ejercen unas moléculas sobre otras del mismo cuerpo.

Por medio del péndulo, y empleando procedimientos que pueden verse en cualquier tratado de Física, se prueba que la intensidad de la gravedad es de $9^m,781$ en el ecuador; de $9^m,804$ en Madrid; de $9^m,808$ en el paralelo de 45° de latitud y de $9^m,809$ en París, aumentando á medida que la latitud es mayor.

ARTICULO III.

PRUEBAS DIRECTAS DEL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DE LA TIERRA.

213. CAIDA DE LOS CUERPOS DE UNA GRAN ALTURA: PRIMERA PRUEBA.—

Cuando un cuerpo en virtud de la acción de la gravedad cae sobre la superficie de la Tierra no cae en el pie de la vertical que pasa por el punto inicial de la caída del cuerpo, sino más al Este. Este hecho comprobado por multitud de experiencias y principalmente por la de Reech (1833) en un pozo de las minas de Freyberg con 158 metros de profundidad vertical prueba directamente la rotación de la Tierra.

En efecto, al girar la Tierra sobre su eje, mientras el punto P (*Fig. 134*) recorre el arco PP', el punto C que está más distante del centro T de

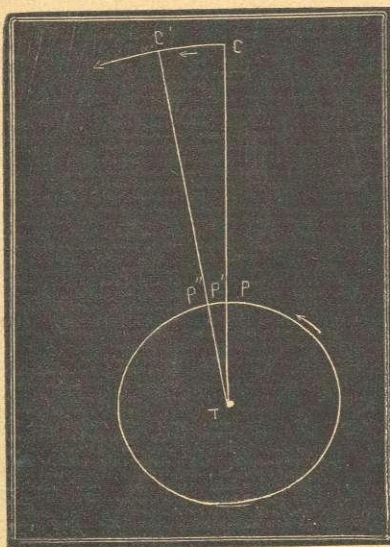


FIG. 134.—TEORÍA DE LA CAIDA DE LOS CUERPOS.

la Tierra tiene que recorrer el CC', evidentemente mayor

que PP' : ha de moverse por consiguiente con más velocidad que el punto P . Si desde C se abandona un cuerpo, éste, solicitado por la gravedad, caerá hacia el centro de la Tierra, pero, siendo su velocidad de rotación en toda su trayectoria mayor que la del punto P , al llegar á la superficie se encontrará no en P' , sino en P'' , ó sea, un poco más al Este del pié de la vertical PC que ahora tiene la dirección $P'C'$. La curva descrita por el cuerpo en su caída es una parábola.

214. FUERZA CENTRÍFUGA: 2.^a PRUEBA. — Otro hecho comprobado sobre la superficie de la Tierra y que prueba directamente su rotación es la disminución del valor de la gravedad desde el polo hasta el ecuador (núm. 212). Parece á primera vista que este hecho pudiera explicarse, diciendo que disminuye la gravedad, porque el radio terrestre no es igual en todos los puntos de la superficie, y la atracción se ejerce en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias. Pero, si se observa que esta disminución no responde con toda exactitud á la ley aducida, se comprenderá que ha de influir en ella otra causa.

Se demuestra en Mecánica: 1.^o, que en todo movimiento circular uniforme se desarrollan dos fuerzas: una que tiende á llevar el cuerpo al centro del movimiento, llamada *centrípeta*, y otra, denominada *centrífuga*, que tiende á lanzarlo al exterior; 2.^o, que el valor de la fuerza centrífuga tiene entre otras propiedades la de ser directamente proporcional al radio de la circunferencia descrita.

Esto supuesto, la disminución del valor de la gravedad se explica satisfactoriamente. Gira la Tierra alrededor de su diámetro polar, y al girar, cada uno de los puntos de su superficie describe un círculo perpendicular al eje de rotación y se desarrolla una fuerza centrífuga que es en cada punto directamente proporcional al radio del círculo descrito. La gravedad está, pues, contrarrestada por la fuerza centrífuga desarrollada, y así como ésta es nula en el polo, aumenta á medida que el punto de la superficie está más próximo al ecuador y obtiene su valor máximo en este círculo; así, por la inversa, la gravedad es máxima en el polo, decrece hacia

el ecuador y es mínima en este círculo, no llegando á anularse, porque es superior á la centrífuga.

215. DESVIACIÓN APARENTE DEL PLANO DE OSCILACIÓN DEL PÉNDULO: 3.^a PRUEBA.—Sabido lo que es el péndulo, su movimiento oscilatorio y sus leyes principales (núm. 37), hagamos constar un nuevo hecho que prueba la rotación de la Tierra: es la *desviación aparente de su plano de oscilación*: llámase *aparente*, porque, como se demuestra en Mecánica, el plano en que oscila el péndulo es por sí mismo invariable.

Los primeros experimentos acerca de este punto fueron efectuados en París por Mr. Foucault en 1851. Suspendió de una armadura, asegurada en la cúpula del Panteón un péndulo y debajo colocó un

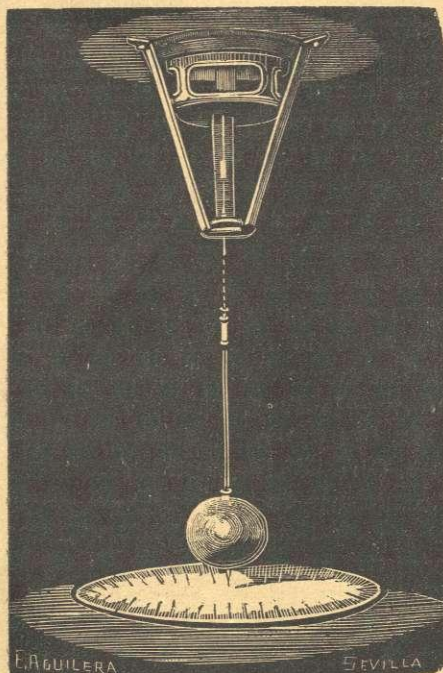


FIG. 135.—DESVIACIÓN DEL PÉNDULO.

circulo graduado, ó una galería circular de columnas (*Fig. 135*). Con el fin de que al poner el péndulo en movimiento no se le comunicase ninguna velocidad inicial, lo sujetó á una de las paredes por medio de un hilo, el cual fué quemado con la luz de una bujía. Así consiguió que el péndulo oscilase en virtud únicamente de la acción de la gravedad.

Mientras duraban las oscilaciones pudo comprobarse una desviación del plano de oscilación; desviación que se hizo muy sensible, mediante unos montículos de arena, colocados sobre el círculo graduado: al tocar en estos montículos la aguja que

se observa en la parte inferior de la esfera ó peso del péndulo, dejaba en ellos señalada la dirección del plano de oscilación.

Para comprender bien, cómo esta desviación es aparente, siendo la Tierra la que realmente gira debajo del péndulo, supóngase: 1.º, que se ha colocado un péndulo en el polo; 2.º, que se le ha hecho oscilar de manera que su plano de oscilación pase por una estrella determinada. Es claro que en virtud de la invariabilidad del plano de oscilación, este coincidirá constantemente con la misma estrella. Parecerá, pues, que dicho plano se desvía alrededor de la vertical, que en aquel punto coincide con el eje del mundo. Esta desviación es de igual duración y en el mismo sentido que el movimiento de la estrella, alrededor del eje del mundo. Son por consiguiente ambos aparentes, y producidos por el movimiento de rotación de la Tierra.

El experimento de Foucault se ha comprobado muchas veces y siempre se ha notado la desviación mencionada, la cual aumenta á medida que el punto donde se hace la observación, está más separado del ecuador.

Una variación de esta prueba es la *desviación del eje del giroscopio*, un aparatito también inventado por el Sr. Foucault: su fundamento, aunque distinto del del péndulo, dá los mismos resultados.

216. FIGURA ELIPSOIDAL DE LA TIERRA: 4.ª PRUEBA.—La figura de la Tierra dá otra prueba de su movimiento de rotación. Es un hecho comprobado experimentalmente que todo cuerpo flexible y sensiblemente esférico toma la forma elipsoidal en virtud de un movimiento de rotación alrededor de uno de sus diámetros. Obsérvese la figura 136. Sobre un plano horizontal se levanta un eje vertical *ap*, al cual se ajustan por la parte inferior cuatro ó seis varillas metálicas flexibles, que se dejan libres por la parte superior, para que puedan correr libremente á lo largo del eje, mediante un anillo. En su posición natural las varillas afectan la forma marcada por la línea de puntos *a*. Imprimiéndoles un movimiento rápido de rotación alrededor del eje vertical, mediante el

manubrio R y la correa sin fin Rp, las varillas toman la for-

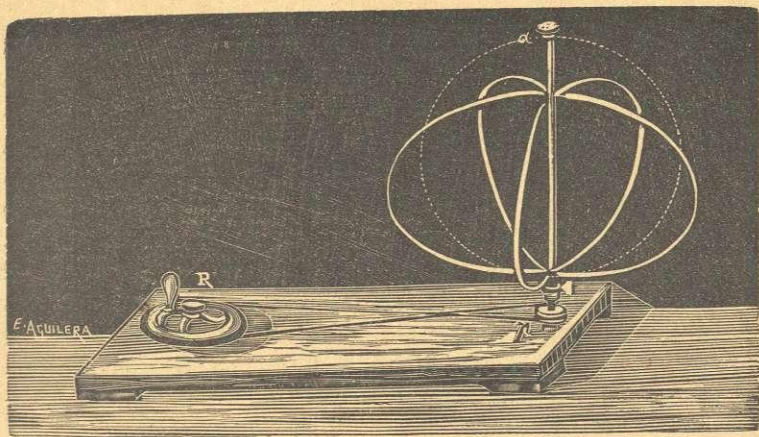


FIG. 136.—FORMA ELIPSOIDAL DE LA TIERRA,
PRUEBA DE SU ROTACIÓN.

ma que indica la figura, esto es, aplanada por los polos y ensanchada por el ecuador.

Con más elegancia comprobó este hecho el Sr. Plateau. En un vaso de cristal C (Fig. 137) preparó una gran cantidad de agua alcoholizada,

cuya densidad era igual á la del aceite é introdujo en el interior de esta masa líquida una pequeña cantidad de aceite: las moléculas de este último cuerpo, sobre el cual en las condiciones expuestas no ejerce acción alguna la gravedad, se agruparon formando una masa sensiblemente esférica. Atravesó esta masa por un eje é imprimiéndole un

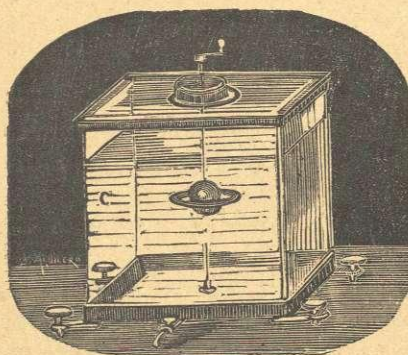


FIG. 137.—EXPERIMENTO
DE MR. PLATEAU.

rápido movimiento de rotación la vió tomar la figura elipsoidal: aumentando la velocidad de rotación, llegó un mo-

mento en que la fuerza centrífuga desarrollada superó á la centripeta, haciendo que se desprendiese un anillo por la parte ensanchada, como se observa en la figura.

Ahora bien; las medidas geodésicas prueban que la Tierra tiene la figura elipsoidal (núm. 208); luego la ha adquirido mediante un rápido movimiento de rotación sobre sí misma; movimiento que se perpetúa, como lo prueba el desarrollo actual de la fuerza centrífuga (núm. 214). La única observación que pudiera hacerse á esta deducción, sería la duda de si la Tierra habrá tenido alguna vez la flexibilidad necesaria para tomar la forma elipsoidal, mediante su rotación. A esta observación responden los Astrónomos y Geólogos que hubo un tiempo en que la Tierra fué una masa gaseosa y que aún hoy quedan muestras de este estado primitivo en el centro de la Tierra, donde todas las materias se encuentran en estado de fusión, á causa de la elevadísima temperatura que en dicho centro existe.

217. SENTIDO Y DURACIÓN DE LA ROTACIÓN DE LA TIERRA.— La Tierra, pues, gira sobre su diámetro polar, y de Occidente á Oriente, esto es, en sentido contrario al de la rotación aparente de la esfera celeste. La duración de esta rotación es la del día sidéreo, el cual, como se comprende sin dificultad por todo lo dicho, no se debe á la rotación de la esfera celeste, sino á la de la Tierra.

ARTICULO IV.

PRUEBAS DIRECTAS DEL MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN DE LA TIERRA.

218. ORIGEN Y VELOCIDAD DE LAS ESTRELLAS ERRANTES:
1.^a PRUEBA.— Cuéntanse entre los meteoros cósmicos las *estrellas errantes*, fenómeno que vulgarmente se conoce con el nombre de *lluvia de estrellas*, y que estudiaremos en su lugar oportuno. Únicamente haremos constar en este lugar: 1.^o, que el origen principal de este meteoro está en una

infinidad de corpúsculos de materia cósmica, que forman una zona alrededor del Sol, los cuales se inflaman al entrar en la atmósfera de la Tierra por su rozamiento con las capas aéreas; 2.º, que el meteoro se repite periódicamente en su máximum de intensidad dos veces al año. Dedúcese de estos dos puntos que la Tierra se encuentra en las inmediaciones de dicha zona dos veces al año, lo cual no se explica cumplidamente más que admitiendo el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

Obsérvase además una gran diferencia de velocidad en las estrellas errantes. Esta particularidad se explica muy bien, teniendo en cuenta que, cuando el centro radiante se encuentra hacia el *apex* (1) de la Tierra, las estrellas errantes se dirigen á ésta, y ésta á aquellas, por lo cual la velocidad de dichas estrellas errantes se suma con la velocidad de la Tierra, y aparece mucho mayor que cuando el centro radiante se encuentra del lado del *antiapex*, puesto que en este último caso la Tierra se separa de ellas.

219. ABERRACIÓN DE LA LUZ: 2.ª PRUEBA.—Para hacerse cargo con exactitud de esta prueba y de la siguiente es necesario antes formarse una idea clara de las modificaciones aparentes que produce la paralage en la posición de los astros (2).

Comencemos por la paralage diurna. Si un observador está colocado en el punto O de la superficie terrestre, (*Fig. 138*) verá el astro A en el punto A', esto es, en el mismo punto que otro observador colocado en el centro T de la Tierra. Si el observador que está en la superficie se traslada á O', verá el astro en A'', y si á O'' en A'''. En todos estos casos el astro lo suponemos fijo en A; luego el cambio de posición del observador sobre la superficie de la Tierra ha producido un cambio aparente de posición en el astro A.

(1) Las palabras *apex* y *antiapex* se aplican á la Tierra en el mismo sentido que al Sol. Véase el número 161.

(2) Véanse los números 65 y 89.

Este cambio aparente de posición está dado en cada caso por los ángulos $A'AA''$ y $A'AA'''$ que son respectivamente iguales á los OAO' y OAO'' . Mas, siendo los ángulos OAO' y

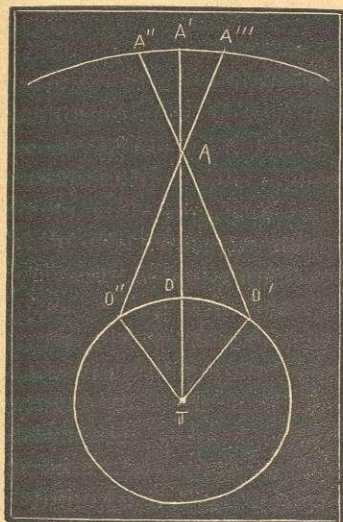


FIG. 138.—EFECTOS DE LA PARALAGE DIURNA.

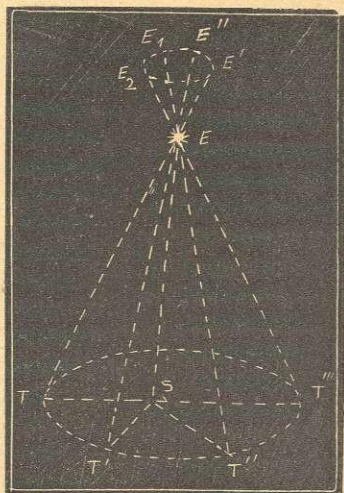


FIG. 139.—EFECTOS DE LA PARALAGE ÁNUA.

OAO'' el valor de la paralaje, cuando el observador se encuentra en O' y O'' , es claro que la paralaje diurna puede también definirse el cambio aparente de posición que experimenta un astro por el cambio verdadero de posición del observador sobre la superficie de la Tierra.

Examinemos ahora la paralaje anual. Si T (Fig. 139) es una posición de la Tierra en su órbita y E una estrella, un observador situado en la Tierra verá la estrella en E' . Cuando en virtud del movimiento de traslación esté en T' , la verá en E'' ; cuando en T'' en E_1 , y cuando en T''' , en E_2 . Se comprende, pues, con facilidad que si la Tierra gira alrededor del Sol, el cambio de posición, que en virtud de este movimiento experimenta el observador, se manifestará por un cambio aparente de posición en las estrellas. Así como la paralaje diurna no produce efecto alguno sobre las estrellas á causa de su gran distancia á la Tierra, así también po-

drá suceder con relación á la paralage ánu;a; pero, si se observa en algunas estrellas este cambio de posición, la traslación de la Tierra alrededor del Sol queda evidentemente comprobada.

Esto supuesto, Bradley comenzó en 1726 sus observaciones, encaminadas á este fin. No cabe aquí, ni siquiera la enumeración de los trabajos realizados por tan célebre Astrónomo: solo diremos que en 1728 había comprobado un cambio aparente de posición en algunas estrellas. Pero el cambio de posición observado no respondía con toda exactitud á lo exigido por el movimiento de traslación de la Tierra, y entonces Bradley lo explicó por una combinación de

la velocidad de la luz con la velocidad de la Tierra, dando á este fenómeno el nombre de *aberración de la luz*.

Para comprender bien la *aberración de la luz*, obsérvese que, como se enseña en Mecánica, dos fuerzas concurrentes sobre el mismo punto de un cuerpo, tienen una resultante, que es la diagonal del paralelogramo construido sobre las intensidades de dichas fuerzas. Ahora bien; si la Tierra estuviese fija en T (*Fig. 140*), un rayo luminoso, procedente de la estrella E, llegaría en línea recta á la Tierra, y el observador vería la estrella en la dirección TE. Pero si la Tierra se mueve en la dirección de la tangente TT' á su órbita con una velocidad que

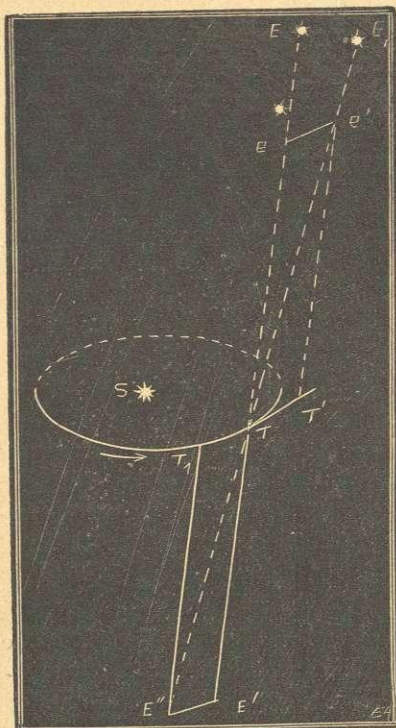


FIG. 140.— ABERRACIÓN DE LA LUZ. es claro que, cuando llegue á T el rayo luminoso, la Tierra

estará en otro punto de su órbita; por la misma razón el rayo luminoso, que impresiona el ojo del observador en T, emanaba de la estrella, cuando la Tierra se encontraba en otro punto de su órbita, hacia T₁. Observando ahora que la velocidad de la Tierra es por término medio de 30 kilómetros por segundo y la de la luz de 300.000 kilómetros, se ve que estas velocidades están entre sí, como 1 á 10.000; por lo tanto, la velocidad de la Tierra no es despreciable con relación á la de la luz.

Resulta de lo dicho que, cuando el observador está en T, no verá la estrella en la dirección TE. Se determina la dirección en que ha de ser vista dicha estrella, prolongando el rayo luminoso TE en la dirección TE' y tomando una magnitud TE' que represente la velocidad de la luz. En la dirección opuesta á la del movimiento de la Tierra se toma TT₁, que esté con TE' en la relación que está la velocidad de la Tierra con la velocidad de la luz. Hecho esto se construye sobre TE' y TT₁ un paralelogramo TT₁E''E'; la diagonal de este paralelogramo TE'' dá la dirección pedida. Prolongándola del otro lado de T, tenemos la línea TE₁, la cual, como se ve en la figura, es á su vez la diagonal del paralelogramo TT'e'e, en el cual Te=TE' representa la velocidad de la luz, y TT'=TT, la de la Tierra. El ángulo T₁TE'', ó su igual eTe', se llama *ángulo de aberración*. Los Astrónomos llaman *constante de la aberración* al ángulo de aberración de la luz solar.

Repitiendo estas construcciones en distintos puntos de la órbita terrestre se encuentra que la estrella describe una elipse sobre la esfera celeste: el semieje mayor de esta elipse es constante; no así el semieje menor, que disminuye á medida que la latitud de la estrella es menor, y que se anula cuando dicha latitud es nula.

Por último, las observaciones de eminentes Astrónomos han comprobado multitud de veces todo lo que se relaciona con la aberración de la luz; luego la traslación de la Tierra alrededor del Sol está demostrada.

Como hemos indicado en el número anterior, Bradley buscaba el cambio aparente de posición de las estrellas, como una consecuencia necesaria de la traslación de la Tierra. Pues bién, lo que Bradley no pudo conseguir lo han obtenido posteriormente otros Astrónomos, y hoy independientemente de la aberración, se conoce el cambio aparente de posición de algunas estrellas, debido únicamente á la traslación de la Tierra, esto es, su paralage ánua (1). Por lo tanto, el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, está plenamente confirmado.

221. SENTIDO Y DURACIÓN DE LA TRASLACIÓN DE LA TIERRA.—La dirección de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol, es la misma que la que tiene el Sol en su movimiento ánuo aparente alrededor de la Tierra. Esta se mueve, pues, de Occidente á Oriente, esto es, un observador, colocado en el Sol y teniendo su cabeza hácia el polo boreal de la eclíptica, vería la Tierra moverse á su alrededor de derecha á izquierda. Por lo tanto, el sentido del movimiento de traslación de la Tierra es el mismo que el de su rotación. El tiempo que emplea la Tierra en recorrer su órbita es de 365 días y $\frac{1}{4}$, próximamente. Más adelante haremos notar la importancia que tiene conocer esta duración con toda exactitud. Durante una revolución de la Tierra alrededor del Sol, su eje de rotación se conserva paralelo á sí mismo.

ARTÍCULO V.

ESTUDIO DE LA ÓRBITA DE LA TIERRA.

222. NATURALEZA Y ELEMENTOS DE LA ÓRBITA QUE LA TIERRA DESCRIBE ALREDEDOR DEL SOL.—Siendo la órbita de la Tierra exactamente igual á la que aparentemente recorre el Sol á su alrededor (núm. 156), es claro que esta órbita es una elipse (núm. 154), de la cual ocupa el Sol uno de los fo-

(1) Véase la tercera parte, cap. I.

cos: la órbita de la Tierra se llama *eclíptica*, y á ella se refieren las órbitas de los demás astros del sistema solar. Por esta razón su estudio ha de hacerse con todo detenimiento, y con toda exactitud han de determinarse sus elementos. Nuestro plan hace que nos limitemos á dar algunas nociones acerca del modo de determinar dichos elementos y acerca de las variaciones que algunos experimentan. No es necesario advertir que, cuando hablemos del movimiento del Sol alrededor de la Tierra, ha de entenderse que dicho movimiento es solo aparente, siendo la Tierra, como hemos probado, la que realmente se mueve.

§ I.—*Elementos de la órbita de la Tierra.*

223. DETERMINACIÓN DE LA OBLICUIDAD DE LA ECLÍPTICA.—Sabemos por el número 150 que la declinación del Sol es máxima, cuando este astro se encuentra en uno de los puntos solsticiales. En estas posiciones, que ocupa el Sol hacia el 21 de Junio y 21 de Diciembre, las variaciones de este astro son muy lentas, por consiguiente es fácil precisar, observándolo constantemente, el momento en que su declinación es máxima. Ahora bien; siendo el valor de la declinación máxima del Sol el del ángulo formado por los planos del ecuador y la eclíptica y siendo este ángulo el que se llama oblicuidad de la eclíptica, es evidente que, determinada la máxima declinación del Sol, queda determinada la oblicuidad de la eclíptica. Esta era el 1.º de Enero de 1900 de $23^{\circ} 27' 8''$, 029. (*Almanaque Náutico*).

224. DETERMINACIÓN DEL PUNTO VERNAL.—Sabemos ya la importancia que tiene el *punto vernal* en Astronomía y también sabemos que dicho punto no puede divisarse sobre la esfera celeste. Por lo tanto, para determinar su posición los Astrónomos acuden á otro procedimiento. Hélo aquí:

Supongamos que provisionalmente se ha tomado como origen de las ascensiones rectas el punto en que corta al ecuador el máximo de ascensión de una estrella muy brillante, por ej., de Sirio.

Sea O (Fig. 141), este origen provisional, EE' el ecuador, y E₁E₂ la eclíptica. Se comprende con facilidad que durante

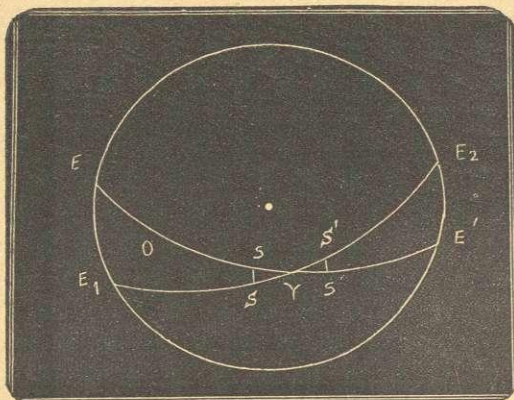


FIG. 141.—DETERMINACIÓN DEL PUNTO VERNAL.

un año se pueden medir la ascensión recta y la declinación del Sol en el momento en que este astro pasa por el meridiano superior. Anotando todos los días estas medidas se observará que hacia el 21 de Marzo la declinación deja de ser austral para hacerse boreal. Esto supuesto, sea Os la

ascensión recta y Ss la declinación del Sol, última medida obtenida, cuando dicha declinación era austral. Del mismo modo, sea Os' la ascensión recta y S's' la declinación al mediodía siguiente, cuando la mencionada declinación es boreal.

En tan corto espacio de tiempo el movimiento del Sol puede considerarse como uniforme y los triángulos esféricos rectángulos Sγs y S'γs', como rectilíneos y semejantes. Tenemos, pues,

$$Ss : S's' :: s\gamma : s'\gamma$$

de donde

$$(Ss + S's') : Ss :: (s\gamma + s'\gamma) : s\gamma$$

por consiguiente

$$s\gamma = \frac{(s\gamma + s'\gamma) \times Ss}{Ss + S's'}$$

ó

$$s\gamma = ss' \times \frac{Ss}{Ss + S's'}$$

La ascensión recta con relación á Sirio del punto vernal se obtiene, pues, añadiendo al arco Os el valor de sγ.

angular del Sol. Se sabe (núms. 153 y 154) que cuando la Tierra está en T esto es, en su perihelio, el valor del diámetro aparente del Sol es máximo ($32' 35'',26$), y que, cuando se encuentra en su afelio, T', el valor de dicho diámetro es mínimo ($31' 30'',66$). Sabemos también que el diámetro aparente de un astro está en razón inversa de su distancia á la Tierra (núm. 64); se puede, pues, formar la siguiente proporción: $TS : T'S :: 32' 35'',26 : 31' 30'',66$. De esta proporción puede deducirse el valor de la relación $SO : TO$. Los Astrónomos han encontrado para ella el valor $1 : 60$, lo cual indica suficientemente que la excentricidad de la eclíptica es tan pequeña, que la elipse descrita por la Tierra es casi un círculo.

227. DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DEL PERIHELIO DE LA ECLÍPTICA.—La longitud del perihelio de la eclíptica se determina fundándose en los mismos principios que su excentricidad; esto es, en los valores máximos y mínimos bien del diámetro aparente, bien de la velocidad angular del Sol. Cuando por uno ú otro procedimiento determinan los Astrónomos la longitud γT (*Fig. 142*), encuentran que este arco vale 100° proximamente, lo cual indica que la línea de los equinoccios $\gamma\gamma'$ tiene la dirección que marca la línea de puntos $\gamma_1 \gamma_2$. Para tener la línea de los solsticios no hay más que trazar una perpendicular á $\gamma_1 \gamma_2$ por el punto S y en el plano de la eclíptica: esta es la $T_1 T_2$, que forma con la TT' un ángulo que vale unos 10° . Así queda determinada la posición del semieje mayor de la eclíptica.

Si en vez de hacer esta determinación directamente sobre la órbita que describe la Tierra, se hiciese sobre la que aparentemente describe el Sol, se obtendrían los mismos resultados. Se encontraría entonces para la longitud del perigeo (1) el valor de 280° . La razón de esta diferencia está en que la longitud del Sol visto desde la Tierra y la de la Tierra vista desde el Sol difieren 180° .

(1) Punto de la eclíptica en que el Sol en su movimiento aparente está más cerca de la Tierra.

§ II.— *Variaciones que experimentan algunos elementos de la eclíptica.*

228. PRECESIÓN DE LOS EQUINOCCIOS.—Hemos dicho en el número 221 que el eje de rotación de la Tierra permanece paralelo á sí mismo. Esta afirmación debe entenderse, como allí dijimos, durante el tiempo que emplea la Tierra en una revolución, puesto que dicho eje cambia de posición con relación al plano de la eclíptica en el transcurso del tiempo á causa de la *precesión de los equinoccios*. Consiste este fenómeno, descubierto por Hiparco, en una *retrogradación* que experimentan los puntos equinociales en el transcurso del tiempo. Para hacerse cargo de este fenómeno, sea γ (Fig 143) el punto de la eclíp-

tica en que se encuentra la Tierra en el equinoccio de primavera; el observador colocado en la Tierra proyectará el Sol S en la estrella E, que está en el plano de la eclíptica. Cuando en virtud de su movimiento de traslación, la Tierra vuelva al equinoccio de primavera, el observador verá el Sol en la dirección $\gamma_1 S$, teniendo que recorrer la Tierra el arco de la eclíptica $\gamma_1 \gamma$, para que el observador proyecte de nuevo el Sol sobre E. Indica esto

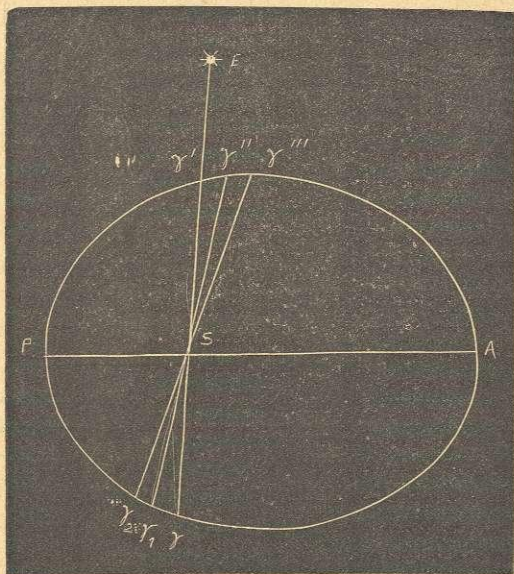


FIG. 143.—PRECESIÓN DE LOS EQUINOCCIOS.

que el equinoccio de primavera ha acontecido un poco antes que la vez anterior. A la revolución siguiente, dicho equinoccio tendrá lugar, cuando la Tierra esté en γ_2 , y así sucesivamente. La línea de los equinoccios *retrograda*, pues, en cada revolución un arco $\gamma\gamma_1$, $\gamma_1\gamma_2$, etc., esto es, el momento en que tiene lugar el equinoccio *precede ó se adelanta* de una á otra revolución. El valor medio de esta precesión es de $50''$, 2 por año.

Sé explica éste fenómeno por la atracción que el Sol ejerce sobre la parte más ensanchada de la Tierra. En virtud de esta atracción el eje de la Tierra no permanece *constantemente* paralelo á sí mismo, sino que en el transcurso de unos 26.000 años próximamente describe una superficie cónica, y esto hace que el polo del

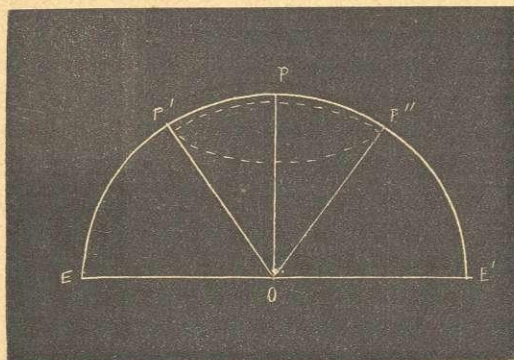


FIG. 144.—CÍRCULO QUE DESCRIBE EL POLO DEL MUNDO EN 26.000 AÑOS.

mundo P' (*Fig. 144*) describa en el mismo tiempo y sobre la esfera celeste EPE' un círculo $P'P''$ alrededor de P , polo de la eclíptica EE' .

229. NUTACIÓN DEL EJE DE LA TIERRA.—La Luna ejerce también su atracción sobre la parte más ensanchada de la Tierra, y esta atracción hace que el eje de la Tierra no describa con toda exactitud el cono, ni el polo del mundo el círculo, de los cuales hemos hablado en el número anterior. En efecto; la atracción lunar hace que el eje de la Tierra y por consiguiente el eje del mundo describan una elipse en $18\frac{2}{3}$ años próximamente alrededor de la posición que deberían ocupar, si solo existiese la precesión. Obsérvese la figura 145. TP es una perpendicular al plano de la eclíp-

tica y por consiguiente paralela al eje de dicho plano; TP' el eje del mundo, prolongación del eje de la Tierra, que suponemos en T; P' P₃ el círculo que el polo P' describe alrededor del polo P de la eclíptica en virtud de la precesión.

Esto supuesto, la atracción lunar hace que el polo P' no sea el que realmente describa el círculo P' P₃, antes bien, este polo describe en unos 18²/₃ años la elipse P'' P, P''' P₂ alrededor del punto P', y este punto, centro de la elipse y llamado *polo medio*, es el que describe el círculo. Así resulta que la línea descrita en 26.000 años por el polo del mundo

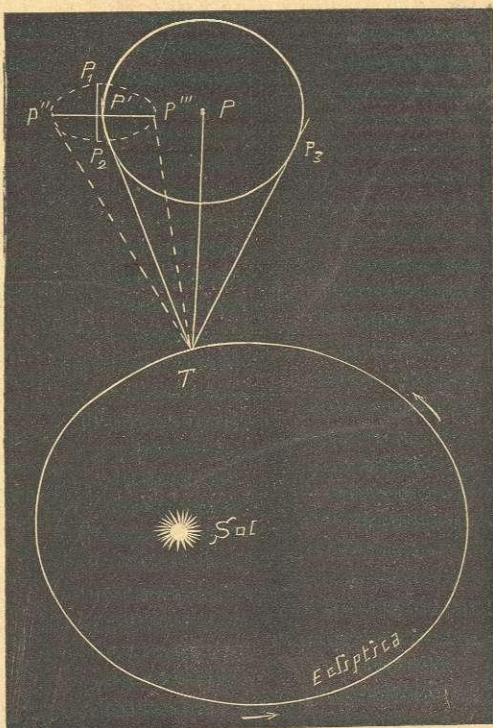


FIG. 145.—NUTACIÓN DEL EJE DE LA TIERRA.

alrededor del polo de la eclíptica es una curva sinuosa, que tiene como posición media un círculo y de la cual puede dar una idea la figura 146. Este fenómeno se llama *nutación del eje de la Tierra* y la elipse mencionada *elipse de nutación*: el eje mayor de esta elipse mide 19'', 3 y el menor 14'', 4.

Los fenómenos de precesión y nutación pueden comprobarse experimentalmente con el aparato de Bohnenber-

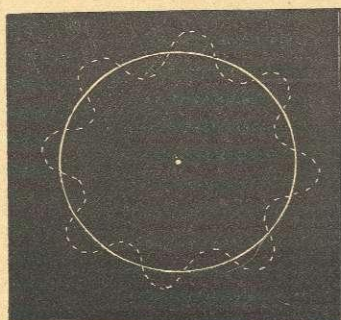


FIG. 146.—FORMA SINUOSA DEL CÍRCULO QUE DESCRIBE EL EJE DEL MUNDO.

ger, construido por Salleron (*Fig. 147*). T es un esferoide móvil sobre un eje en un anillo C. Este anillo es móvil sobre otro eje perpendicular al del esferoide en un segundo anillo, móvil á su vez en un tercero.



FIG. 147.—APARATO DE BOHNENBERGER.

Se reproduce la precesión, colocando el esferoide en una posición inclinada, semejante á la de la Tierra sobre el plano de la eclíptica. Se fija en uno de los extremos del eje del esferoide una masa pequeña m ; esta masa, obra como la atracción solar y tiende á hacer recta la línea de los polos. Se arrolla un cordón alrededor del eje del esferoide, y, desenrollándolo con rapidez, se imprime al esferoide un movimiento rápido de rotación. Esta rotación se compone con la que produce la masa m y determina el movimiento de precesión. Se reproduce la nutación, tocando ligeramente el círculo C, cerca de la masa m , cuando la rotación anterior comienza á hacerse lenta. Los choques impresos al círculo C obran como la atracción lunar, y se nota que cada extremo del eje del esferoide describe una elipse alrededor de la generatriz del cono de precesión.

230. DISMINUCIÓN SECULAR DE LA OBLICUIDAD DE LA ECLÍPTICA.—Las observaciones astronómicas han comprobado que, aunque lentamente, el ángulo que forman los planos de la eclíptica y del ecuador celeste disminuye: este fenómeno se llama *disminución secular de la oblicuidad de la eclíptica*. El valor de esta disminución es actualmente de $48''$ por siglo, ó de $0''$; 48 por año, habiendo demostrado las variaciones de las latitudes celestes que se debe á un cambio de posición, lento, pero real, del plano de la eclíptica en el espacio. “Según Laplace la eclíptica no llegará á coincidir con el ecuador celeste, puesto que si aquella se acerca actualmente á este, llegará un momento en que su movimiento

será en sentido contrario y se separará del ecuador, „ (*Garcet*). Resulta, pues, que la eclíptica oscila á uno y otro lado del ecuador celeste; oscilaciones seculares, que indefinidamente se repetirán en la Naturaleza.

231. CAMBIO DE POSICIÓN DEL PERIHELIO DE LA TIERRA.—En el número 227 hemos indicado cómo se determina la longitud del perihelio de la eclíptica. Pues bien, cuando dicho punto se determina en dos épocas muy distantes, por ej., con el intervalo de 100 años, se nota que la longitud de dicho perihelio aumenta constantemente. Las observaciones astronómicas han comprobado que dicho aumento es de unos $62''$ por año. Si de esta cantidad se restan $50''$, 2 que retrogradan los puntos equinocciales, se obtiene para el aumento de longitud del perihelio unos $11''$, 8 por año. Indica este fenómeno que así como el plano de la órbita descrita por la Tierra alrededor del Sol cambia lentamente de dirección en el espacio, así también la elipse que la Tierra recorre cambia lentamente de posición en este plano, puesto que su eje mayor toma en él diferentes direcciones.

Hagamos notar, por último, que, en virtud del aumento de longitud del perihelio y de la precesión de los equinoccios combinados, el perihelio de la eclíptica P (*Figura 148*) se acerca en la dirección PP' al punto vernal γ , el cual retrocede á su vez, acercándose al perihelio en la dirección $\gamma\gamma'$, por lo tanto, la línea de los ápsides tiende á coincidir con la de los equinoccios y esta con aquella

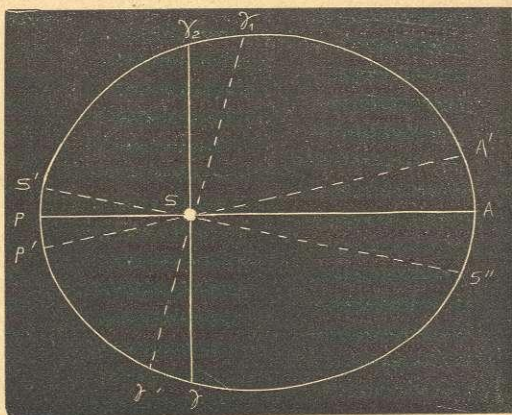


FIG. 148.—CAMBIO DE POSICIÓN DEL PERIHELIO DE LA TIERRA.

232. INFLUENCIAS DE LOS MOVIMIENTOS ESTUDIADOS EN LAS OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS.—Entre las muchas influencias que ejercen los fenómenos indicados en los números anteriores, mencionaremos las siguientes:

1.^a - *Variación de algunas coordenadas celestes.*—Al retrogradar el punto vernal, origen de las ascensiones rectas y de las longitudes celestes, estas coordenadas aumentan. Del mismo modo, al variar el plano del ecuador celeste y los polos del mundo, varían las declinaciones de los astros.

2.^a *Variación en el aspecto del cielo.*—Por las mismas razones se comprende que varíe la estrella polar, puesto que este nombre se dá á una estrella que está próxima al polo (1), y que los signos del Zodiaco no correspondan á las constelaciones que llevan sus nombres (2). También varía el número de las estrellas visibles, invisibles y alternativamente visibles é invisibles en un punto de la Tierra.

3.^a *Variaciones terrestres.*—Al disminuir la oblicuidad de la eclíptica los trópicos se acercan al ecuador y los círculos polares al polo respectivo.

4.^a *Desigualdad de las estaciones.*—También influyen la precesión y el cambio de posición del perihelio en la duración de las estaciones. De este punto hablaremos en el artículo siguiente.

ARTÍCULO VI.

CONSECUENCIAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

En el art. III del cap. IV de la 1.^a parte dimos á conocer las diversas especies de tiempo, y dijimos que el tiempo so-

(1) La estrella polar actual es α de la Osa Menor, que dista del polo boreal actualmente $1^{\circ} 15'$. Dentro de 12.000 años la estrella polar será α de la Lira, ó sea Wega.

(2) El punto vernal se encuentra actualmente en la constelación de los Peces.

lar resulta de tomar como medida del tiempo el movimiento aparente del Sol, el cual no es más que el real de la Tierra. El estudio que ya hemos hecho de los movimientos de la Tierra nos suministra los datos necesarios para completar mediante ligeras nociones lo que se relaciona con dicha medida del tiempo, al par que nos permite explicar otros fenómenos á que dan origen en nuestro globo los mencionados movimientos.

§ I.—*Diversas especies de años.*

233. CONCEPTO GENÉRICO DEL AÑO: SUS ESPECIES.—Se llama *año* en general el tiempo que emplea la Tierra en recorrer su órbita alrededor del Sol. Sus especies son: *sidéreo*, *tropical* y *anomalístico*.

234. CONCEPTO Y DURACIÓN DEL AÑO SIDÉREO.—Se llama *año sidéreo* el tiempo que transcurre entre dos posiciones consecutivas de la Tierra en su órbita con relación á una misma estrella. Se mide por el tiempo que emplea el Sol en volver en su movimiento ánuo al mismo punto de la eclíptica con relación á una estrella determinada. Su duración es de $366^{\text{d}} 6^{\text{h}} 9^{\text{m}} 11^{\text{s}}$ de tiempo sidéreo y de $365^{\text{d}} 6^{\text{h}} 9^{\text{m}} 10^{\text{s}}$, 7 de tiempo medio.

235. CONCEPTO Y DURACIÓN DEL AÑO TRÓPICO.—Se llama *año tropical* el tiempo que emplea la Tierra en volver al mismo equinoccio. Se mide por el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el equinoccio de primavera. Su duración es de $365^{\text{d}} 5^{\text{h}} 48^{\text{m}} 46^{\text{s}}$ de tiempo medio. Se comprenderá por qué el año tropical es más corto que el sidéreo, si se recuerda la precesión de los equinoccios.

236. CONCEPTO Y DURACIÓN DEL AÑO ANOMALÍSTICO.—Se llama *año anomalístico* el tiempo que emplea la Tierra en volver al perihelio. Se mide por el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el perigeo. Su du-

ración es de $365^d 6^h 13^m 54^s$, 9 de tiempo medio. Se comprenderá por qué el año anomalístico es más largo que el trópico y el sidéreo, si se recuerda el cambio de posición del perihelio de la Tierra.

237. EXCESO DEL DÍA SOLAR SOBRE EL SIDÉREO.—Decíamos en el núm. 116 que el día solar era unos 4^m proxima-

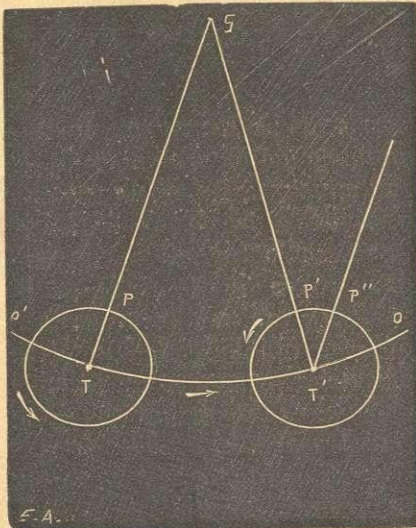


FIG 149.—EXCESO DEL DÍA SOLAR SOBRE EL SIDÉREO.

mente más largo que el sidéreo. Para comprender bien la diferencia de uno á otro día, obsérvese la figura 149. S representa el Sol y T, T' dos posiciones de la Tierra en su órbita O'O; se supone que la Tierra ha recorrido el arco TT' en el tiempo que emplea en verificar una rotación sobre su eje.

Si el Sol y una estrella han pasado por el meridiano TP, cuando la Tierra está en T, al encontrarse esta en T', dicha estrella pasará por el mismo meridiano, cuando tenga la posición T'P'' paralela á TP.

En cambio el Sol no pasará por dicho meridiano hasta que este no tenga la posición T'P'. El exceso del día solar sobre el sidéreo es, pues, el tiempo que emplee el meridiano T'P'' en recorrer el arco P''P': este exceso es de $3^m 56^s 555$ de tiempo sidéreo, y de $3^m 55^s 909$ de tiempo medio.

§. II.—Estaciones.

238. CONCEPTO Y NÚMERO DE LAS ESTACIONES.—El paso de la Tierra por los puntos equinocciales y solsticiales, al recorrer su órbita alrededor del Sol, divide la eclíptica en

cuatro partes y el año trópico en cuatro periodos, que se llaman *estaciones*. Pueden, pues, definirse las estaciones los periodos de tiempo que emplea la Tierra en recorrer cada cuarta parte de la eclíptica: se llaman *primavera*, *verano* ó *estío*, *otoño* é *invierno*.

Para comprender bien la teoría de las estaciones ha de recordarse que el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol determina el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra. En virtud de la correspondencia de estos movimientos los pasos sucesivos de la Tierra por varios signos del Zodiaco determinan los pasos sucesivos del Sol por los signos opuestos, y al contrario. Así, cuando se dice que la Tierra pasa del signo de Aries al del Tauro, el Sol pasa aparentemente del signo de Libra al del Escorpión, y por la inversa, cuando se dice que el Sol pasa del signo de Aries al del Tauro, habrá de entenderse que la Tierra es la que ha pasado del signo de Libra al del Escorpión.

Esto supuesto, y refiriéndonos á nuestro hemisferio, la primavera comienza cuando la Tierra se encuentra en el signo de Libra (*Fig. 150*), esto es, cuando el Sol se encuen-

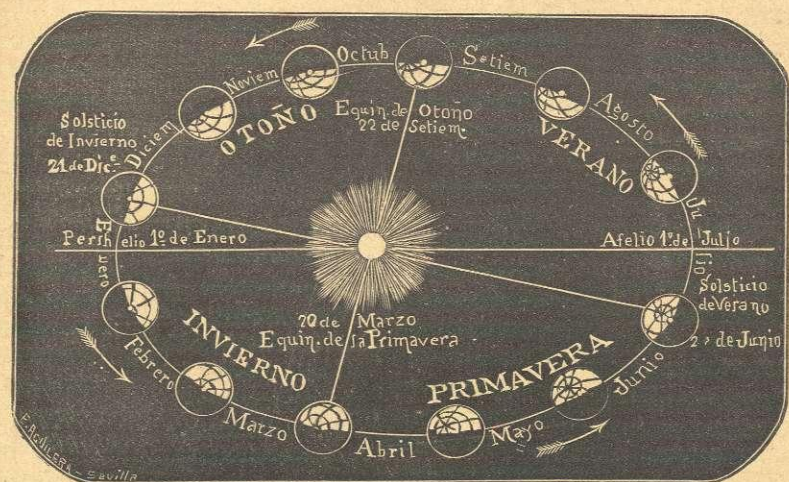


FIG. 150.—TEORÍA DE LAS ESTACIONES.

tra en el signo de Aries, dejando el hemisferio austral, para pasar al boreal; lo cual sucede hácia el 20 de Marzo: dura

esta estación todo el tiempo que emplea la Tierra en llegar al solsticio de Capricornio en su movimiento real, ó el que emplea en su movimiento aparente el Sol en llegar al solsticio de Cáncer hácia el 21 de Junio. En este momento comienza el verano que dura hasta que la Tierra llega al signo de Aries, ó el Sol al de Libra, hácia el 22 de Septiembre. A partir de este momento dá principio el Otoño, que dura hasta que la Tierra llega al solsticio de Cáncer, ó el Sol al de Capricornio, lo cual sucede hácia el 21 de Diciembre. Por último, en esta fecha empieza el invierno, durando hasta que la Tierra llega nuevamente al signo de Libra, y el Sol al de Aries, hácia el 20 de Marzo, donde comienza una nueva primavera.

No debe extrañar que los nombres de las estaciones se correspondan con los de los equinoccios y solsticios, habida consideración á los pasos del Sol, y no á los de la Tierra, porque estos movimientos aparentes del Sol son los que primeramente conoció el hombre como si fuesen verdaderos, y además son los que directa é inmediatamente se perciben.

239. CARACTERES DE LAS ESTACIONES.—Los caracteres de las estaciones pueden reducirse á los dos generales siguientes: *desigualdad en la duración* y *desigualdad en la temperatura*.

240. CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA DESIGUAL DURACIÓN DE LAS ESTACIONES.—Sabemos que dada la disposición actual de los elementos de la órbita de la Tierra, la línea de los equinoccios pasa por el Sol, siendo perpendicular á la línea de los solsticios. Ahora bien; el Sol no ocupa el centro de la elipse descrita por la Tierra, sino uno de los focos; por lo tanto, los cuatro arcos en que la eclíptica queda dividida por dichas líneas son desiguales. Sabemos también que la Tierra recorre la eclíptica con arreglo á las leyes de Kepler y de Newton, moviéndose con más velocidad, cuando está más próxima al Sol: por consiguiente los periodos de tiempo en que la Tierra describe las cuatro partes de la eclíptica

son desiguales. Luego las cuatro estaciones han de tener desigual duración. Además, la Tierra está más próxima al Sol de Septiembre á Marzo que de Marzo á Septiembre; luego el otoño y el invierno han de ser más cortos que la primavera y el verano. La duración media de la primavera es en nuestro hemisferio de 91^d 21^h; la del verano 93^d 14^h; la del otoño 89^d 19^h, y la del invierno 89^d. El cuadro siguiente dá á conocer el principio y duración de las estaciones en 1.900 en tiempo medio de S. Fernando.

Estaciones.	Comienzo.	Duración.
Primavera	Marzo, 20 ^d 13 ^h 14 ^m	92 ^d 20 ^h 1 ^m
Verano	Junio, 21 9 15	93 14 40
Otoño	Septiembre, 22 23 55	89 18 21
Invierno	Diciembre, 21 18 16	89 0 46

Si se agrega á lo dicho que en virtud de la precesión de los equinoccios y del cambio de posición del perihelio de la Tierra, dicho perihelio y el punto vernal se acercan uno á otro, se comprenderá que la duración de las estaciones cambia constantemente, aunque con gran lentitud. Como hoy se sabe con exactitud la cantidad ánuua de estos movimientos, se ha podido calcular, cuándo coincidió la línea de los solsticios con el eje mayor de la eclíptica. Sucedió esto hácia el año 1250 de nuestra era. En esta fecha la primavera era igual al verano, el otoño al invierno y la duración reunida del invierno y de la primavera era igual á la del verano y otoño. También se ha calculado, cuándo coincidió la línea de los equinoccios con el eje mayor de la eclíptica. Sucedió esto hace unos 6.000 años. En esta fecha el invierno era igual á la primavera, el verano al otoño y la suma de la primavera y del verano era igual á la suma del otoño y del invierno. Las cuatro estaciones eran, pues, iguales, abstracción hecha de la excentricidad de la eclíptica, que, como sabemos, es muy pequeña. Si se admite la opinión de los que, siguiendo la interpretación tradicional de

las SS. Escrituras, asignan al hombre unos 6.000 años de existencia, es de admirar que Dios Nuestro Señor crease al hombre cuando la Tierra se encontraba con igualdad de estaciones.

241. CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DE LAS ESTACIONES.—Es cosa demasiado sabida que en nuestro hemisferio el verano es la época de los calores, y el invierno la de los fríos; y que la primavera y el otoño pueden considerarse como dos épocas intermedias templadas. Como el calor de la superficie terrestre depende del que recibe del Sol, la diferencia indicada se explica por las siguientes causas.

1.^a *Duración de las estaciones.*—Si sumamos la duración media de la primavera y del verano y la comparamos con la del otoño é invierno, encontraremos para las primeras un exceso de unos 8 días; en ellas recibe, pues, nuestro hemisferio cierta cantidad de calor, que no recibe en las otras dos estaciones.

2.^a *Tiempo que está nuestro hemisferio expuesto á los rayos solares.*—Al comenzar la primavera, la Tierra se encuentra en la intersección del plano de la eclíptica y del plano del ecuador (*Fig. 151*); los rayos solares caen sobre ella perpendicularmente á su eje de rotación y por consiguiente en el transcurso de un día, ó sea, de una rotación, todos los puntos de la Tierra se ven expuestos á la acción de los rayos solares, recibiendo próximamente el mismo calor todos los puntos situados en un mismo paralelo. Desde este momento hasta que comienza el otoño el Sol no falta nunca en el polo boreal, ni á su alrededor en una zona mayor ó menor según la fecha, como se observa en la figura, siendo los días mayores que las noches en aquellos puntos de dicho hemisferio en los cuales el Sol sale y se pone todos los días. Por la inversa, desde que comienza el otoño hasta que llega nuevamente la primavera el polo boreal queda oculto en la sombra y á su alrededor una zona también mayor ó menor según la fecha, siendo los días menores que

las noches en aquellos puntos, donde el Sol tiene orto y ocaso diariamente. Dedúcese de lo dicho que la cantidad de

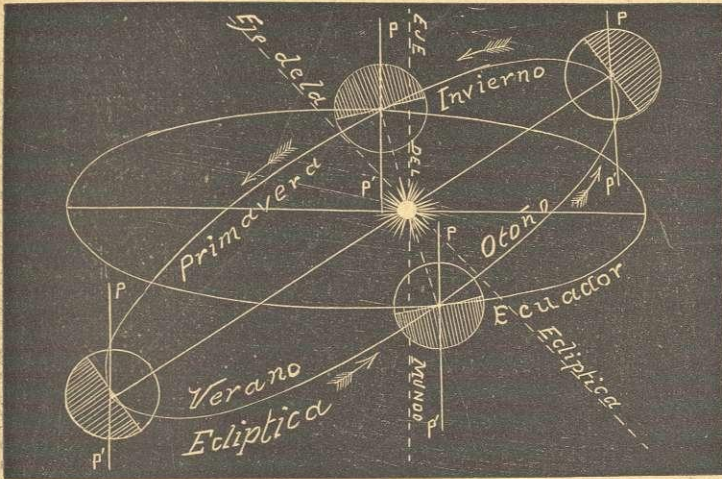


FIG. 151.—TEORÍA DE LOS DÍAS Y LAS NOCHES COMUNES.

calor que recibe nuestro hemisferio en la primavera y el verano es mayor que la que recibe en el otoño é invierno.

3.^a *Oblicuidad de los rayos solares.*—La cantidad de calor que recibe un cuerpo es tanto mayor, cuanto menor es la oblicuidad de los rayos que recibe. Esto supuesto, los rayos solares llegan siempre á la Tierra en la dirección del radio vector que une su centro con el del Sol. Este radio vector forma con el eje de rotación de la Tierra un ángulo de 90° , al comenzar la primavera. Desde este momento la Tierra, como hemos dicho antes, presenta al Sol su polo boreal: el eje de rotación permanece paralelo á sí mismo durante un año; por lo tanto, el ángulo que forman el radio vector y el eje de la Tierra disminuye en el hemisferio boreal hasta principios del verano en que es igual á unos $66^{\circ}33'$. Desde este momento aumenta hasta el principio del otoño en que es nuevamente igual á 90° . A partir de este punto sigue aumentando hasta principios del invierno en que

obtiene su valor máximo, unos $123^{\circ}27'$, comenzando de nuevo á disminuir hasta que llega otra vez la Tierra al principio de la primavera. Compréndese, pues, que los rayos solares caen sobre el hemisferio boreal de la Tierra con menor oblicuidad durante la primavera y el verano que durante el otoño y el invierno; por lo tanto, en aquellas estaciones recibe más calor que en estas.

Es de notar también que los más fuertes calores no acontecen al comenzar el verano, ni los más grandes fríos al comenzar el invierno. Aquellos suelen presentarse en la primera mitad de Julio, y estos en la de Enero. Se comprenderá esta particularidad si se tiene en cuenta que durante la primavera nuestro hemisferio ha de recuperar la cantidad de calor irradiada durante el invierno, estando ya caldeado á principios de verano: lo contrario sucede en otoño é invierno; nuestro hemisferio se encuentra caldeado de los ardores del verano y así tarda más en enfriarse. Concorre también á producir estos efectos el hecho de que el perihelio y el afelio de la Tierra tienen lugar actualmente á principios de Enero y de Julio, como en otro lugar dijimos.

§ III.—*Días y noches comunes.*

242. CONCEPTO DE LOS DÍAS Y NOCHES COMUNES.—Se llama *día común ó natural* el espacio de tiempo que emplea el Sol en recorrer su curva visible sobre el horizonte en virtud del movimiento diurno de la esfera celeste, y *noche* el que emplea en recorrer la parte de su curva que está debajo del horizonte (núm. 114). Estos días y noches son debidos realmente al movimiento de rotación de la Tierra, en virtud del cual esta presenta sucesivamente á los rayos solares los puntos de su superficie.

243. CÍRCULO DE ILUMINACIÓN.—Siendo la Tierra sensiblemente esférica los rayos solares no pueden iluminar en

un momento dado más que la mitad de su superficie: la parte iluminada está separada de la que se encuentra en la obscuridad por un círculo máximo, que es siempre perpendicular al radio vector que une el centro del Sol con el de la Tierra. Este círculo se llama *círculo de iluminación*.

244. CARACTERES DE LOS DÍAS Y NOCHES COMUNES.—Como decíamos al hablar de las estaciones, los caracteres de los días y noches comunes pueden reducirse á dos generales: *desigualdad en la duración* y *desigualdad en la temperatura*.

245. CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA DESIGUAL DURACIÓN DE LOS DÍAS Y NOCHES COMUNES.—Dos causas principales influyen en que los días y las noches comunes no tengan igual duración:

1.^a *Posición de la Tierra en su órbita*.—Supuesto lo que hemos dicho en el número 241, se comprende muy bien que cuando comienza la primavera (*Fig. 151*) el círculo de iluminación es perpendicular al ecuador, coincidiendo con un meridiano. Los días son, pues, en esta posición iguales á las noches en todos los puntos de la Tierra.

A partir de este momento la Tierra recorre la parte de su órbita que está comprendida debajo del ecuador; el polo boreal se presenta á los rayos solares, y con él una zona á su alrededor, que es tanto mayor, cuanto más baja está la Tierra; la parte iluminada de este hemisferio es mayor que la no iluminada, y los días aumentan y las noches disminuyen constantemente hasta llegar al principio del verano en que aquellos obtienen su valor máximo y estas su valor mínimo.

Desde esta fecha la Tierra sube hácia el ecuador; la parte iluminada del hemisferio boreal disminuye, y la no iluminada aumenta; por lo tanto, los días se hacen cada vez más cortos y las noches más largas, hasta que al comenzar el otoño son de nuevo iguales.

Como se observa en la figura, á partir de este momento la Tierra recorre la parte de su órbita que está sobre el ecuador; el polo boreal queda sumido en la obscuridad y con él una zona á su alrededor, que es tanto mayor, cuanto más alta está la Tierra; la parte iluminada de este hemisferio es menor que la no iluminada, y por consiguiente los días continúan decreciendo y las noches aumentando hasta llegar el comienzo del invierno en que aquellos tienen su valor mínimo y estas su valor máximo.

Desde esta posición la Tierra desciende, acercándose cada vez más al ecuador; la parte iluminada aumenta y la no iluminada disminuye; los días pues se hacen cada vez más largos y las noches más cortas, hasta llegar nuevamente el principio de la primavera en que son iguales entre sí.

El mismo razonamiento aplicado en sentido contrario al hemisferio austral comprueba que en este los días y las noches son mayores, cuando son menores en el boreal y vice-versa.

2.^a *Posición del lugar sobre la Tierra.*—Basta lo que hemos ya indicado, para comprender que los días y las noches no son iguales en todos los puntos de un mismo hemisferio. Completemos ahora estas nociones, refiriéndonos siempre al hemisferio boreal.

Cualquiera que sea el punto de su órbita en que se encuentra la Tierra, el ecuador terrestre está dividido en dos partes iguales por el círculo de iluminación; los días y las noches son, pues, iguales en los puntos situados sobre el ecuador en todo el año. En cambio, el polo boreal está iluminado desde el comienzo de la primavera hasta el principio del otoño, y en la oscuridad durante el otoño y el invierno; por lo tanto el día dura en él seis meses y la noche otros seis.

Para hacerse cargo de la duración de los días en los puntos situados entre el ecuador y el polo, examinemos nuestro hemisferio en una fecha dada: sea esta el 21 de Junio, cuando los días son mayores y las noches más cortas. En este caso, el radio vector que une el centro del Sol con el de la Tierra forma con la parte del eje de rotación de

la Tierra que une el centro de esta con su polo boreal un ángulo de unos $66^{\circ}33'$, y como el círculo de iluminación es siempre perpendicular á dicho radio vector, una zona de unos $23^{\circ}27'$, ó sea la comprendida entre el círculo polar ártico y el polo, está toda iluminada y por consiguiente los paralelos cuya latitud sea superior á $66^{\circ}33'$. Los paralelos cuya latitud sea inferior á $66^{\circ}33'$ están en parte iluminados y en parte no iluminados, pero en todos la parte iluminada es mayor que la no iluminada, siendo la diferencia entre una y otra tanto mayor cuanto más elevada es la latitud, puesto que el ecuador cuya latitud es nula, tiene una mitad iluminada y otra nó iluminada y el círculo de $66^{\circ}33'$ de latitud está todo iluminado. Los días son por consiguiente mayores á medida que aumenta la latitud del lugar.

Aplicando este razonamiento con las debidas proporciones á las demás fechas y puntos en que se encuentra la Tierra en su órbita, y teniendo en cuenta todo lo que hemos dicho anteriormente en este párrafo se comprueba: 1.^o, que durante la primavera y el verano los días son más largos que las noches en el hemisferio boreal, y tanto mayores, cuanto más elevada es la latitud; 2.^o, que durante el otoño y el invierno los días son más cortos que las noches en el mismo hemisferio y tanto menores, cuanto más elevada es la latitud. Como facilmente se comprende lo contrario sucede en el hemisferio austral.

246. CLIMAS ASTRONÓMICOS.—Para indicar la mayor duración del día común ó natural en los distintos puntos de nuestro globo se considera este dividido en 60 zonas paralelas al ecuador, 30 en cada hemisferio, llamadas *climas astronómicos*. Partiendo del ecuador los 24 primeros son de *media hora* y comprenden hasta el círculo polar respectivo; los 6 restantes son de *meses* y comprenden desde el círculo polar hasta el polo. El cuadro siguiente dá á conocer los climas del hemisferio boreal, la latitud, su anchura y la duración del día más largo.

Climas.	Latitud.	Anchura.	Día más largo.
Ecuador	0.° 0.'	0.° 0.'	12. ^h 0. ^m
<i>De media hora</i>			
1	8. 34.	8. 34.	12. 30.
2	16. 33.	8. 9.	13. 0.
3	24. 10.	7. 27.	13. 30.
4	30. 46.	6. 46.	14. 0.
5	36. 28.	5. 42.	14. 30.
6	41. 21.	4. 53.	15. 0.
7	45. 29.	4. 8.	15. 30.
8	48. 59.	3. 30.	16. 0.
9	51. 57.	2. 58.	16. 30.
10	54. 28.	2. 31.	17. 0.
11	56. 36.	2. 8.	17. 30.
12	58. 25.	1. 49.	18. 0.
13	59. 57.	1. 32.	18. 30.
14	61. 16.	1. 19.	19. 0.
15	62. 24.	1. 8.	19. 30.
16	63. 20.	0. 56.	20. 0.
17	64. 8.	0. 48.	20. 30.
18	64. 48.	0. 40.	21. 0.
19	65. 20.	0. 32.	21. 30.
20	65. 46.	0. 26.	22. 0.
21	66. 6.	0. 20.	22. 30.
22	66. 20.	0. 14.	23. 0.
23	66. 28.	0. 8.	23. 30.
24	66. 33.	0. 5.	24. 0.
<i>De meses.</i>			
1	67. 23.	0. 50.	1 mes
2	69. 10.	2. 27.	2 "
3	73. 39.	3. 49.	3 "
4	78. 31.	4. 52.	4 "
5	85. 5.	5. 34.	5 "
6 (Polo)	90. 0.	5. 55.	6 "

247. CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA DESIGUAL TEMPERATURA DE LOS DÍAS Y NOCHES COMUNES.—La diferencia de temperatura entre el día y la noche en un punto dado es una verdad tan conocida y tan fácil de explicar que no hay necesidad de detenerse en ella. Basta en efecto tener presente que durante el día el Sol derrama luz y calor sobre dicho punto, mientras que durante la noche el Sol se encuentra debajo del horizonte, y la parte de la Tierra no iluminada además de no recibir los rayos solares, pierde por irradiación hácia el espacio una gran cantidad del calor recibido durante el día.

Para explicar la diferencia de temperatura de unos días con otros y de unas noches con otras en un mismo punto, ó del mismo día y de la misma noche en distintos puntos del mismo hemisferio, hay necesidad de acudir á otras varias causas, las cuales pueden clasificarse en dos grupos: *generales* y *particulares*. De las generales, indicaremos las siguientes:

1.^a *Desigual temperatura de las estaciones*.—La diferencia de temperatura entre las estaciones, resultado de las causas indicadas (núm. 241), induce necesariamente la diferencia de temperatura de unos días con otros y de unas noches con otras en un punto dado de la Tierra, puesto que las estaciones no son más que un agregado de días y de noches. Estas y aquellos son, pues, más calurosos en verano, más fríos en invierno y relativamente templados en primavera y en otoño.

2.^a *Desigual duración del día y de la noche*.—Cuanto más largo es un día en un punto dado, más tiempo está expuesto dicho punto á los rayos solares; por lo tanto, más caluroso es el día y viceversa. Cuanto más larga es la noche, más calor pierde por irradiación la Tierra, siendo más fría la noche y viceversa.

3.^a *Posición del lugar sobre la Tierra*.—Cuanto más próximo al ecuador se encuentra un lugar, más perpendicularmente recibe los rayos solares; por lo tanto, en igualdad

de circunstancias los días serán más calurosos, cuanta menor sea su latitud.

La diferencia de temperatura entre los días y noches comunes en un lugar dado depende además de otras causas especiales, como son; la proximidad al mar, la altitud ó elevación sobre el nivel del mar, los vientos dominantes, la inclinación del terreno y su posición relativa, la situación de sus montañas, etc., etc.

Hemos de advertir que la temperatura máxima del día no es precisamente á mediodía, ni la mínima á media noche, sino que por una razón análoga á la de las estaciones (número 241), la primera tiene lugar de dos á tres de la tarde, y la segunda cerca de amanecer.

248. TEMPERATURA MEDIA: LÍNEAS ISOTERMAS: POLOS DEL FRÍO.—La temperatura media de un lugar dado puede ser *diaria, mensual y anual*. Se obtiene la primera sumando la máxima y la mínima del día, ó las que marque el termómetro en cada una de las 24 horas del día, y tomando su semisuma. Para obtener la mensual ó la anual se opera del mismo modo, bien con las *medias* de los 30 días, bien con las de los 12 meses.

Se llaman *líneas isotermas* las que unen aquellos puntos de la Tierra, cuya temperatura media anual es la misma. Si se tienen en cuenta las muchas causas que influyen en la temperatura de un punto de la Tierra, se comprenderá por qué las líneas isotermas no coinciden con los paralelos de latitud, ni son paralelas entre sí, antes bien, son irregulares y onduladas. *Zona isotérmica* es la comprendida entre dos líneas isotermas. *Ecuador térmico* la línea isoterma de mayor temperatura media anual.

Por último háse dado el nombre de *polos del frío* á los dos puntos del globo donde la temperatura media anual es infima. No coinciden con los polos geográficos, antes bien, se admite en la actualidad que en estos la temperatura es relativamente benigna.

249. CREPÚSCULOS.—Se da el nombre de *crepúsculo* á la claridad que se percibe antes de salir el Sol, y después de

haberse ocultado este astro. El de la mañana se llama *matutino* ó *aurora*, y *vespertino* el de la tarde. Aunque distinto este fenómeno de la refracción atmosférica, se debe también á la existencia de la atmósfera. En efecto; antes de salir el Sol, y después de haberse ocultado, los rayos solares iluminan las regiones superiores de la atmósfera, y esta luz difundida por las capas aéreas produce la claridad, llamada *crepúsculo*.

El crepúsculo puede ser *civil* y *astronómico*. Comienza y concluye el primero, cuando el Sol está 6° bajo el horizonte, ó lo que es igual, cuando dejan de verse ó comienzan á aparecer las estrellas de 1.^a magnitud. El segundo comienza y termina, cuando el Sol se encuentra 18° debajo del horizonte: en este momento, si se trata del crepúsculo *vespertino* se perciben todas las estrellas visibles á la simple vista, esto es, las seis primeras magnitudes.

La duración del crepúsculo depende de varias causas, entre las cuales pueden citarse como más principales, la posición de la Tierra en su órbita y la latitud del lugar. Los crepúsculos son, pues, mayores por regla general á medida que lo son los días, y cuanto más elevada es la latitud del punto de la Tierra.

ARTÍCULO VII.

CONSTITUCIÓN DE LA TIERRA.

El estudio de la constitución de nuestro globo está muy adelantado en la actualidad, merced al gran desarrollo que han recibido en estos últimos tiempos algunas ciencias especiales, como la *Mineralogía*, la *Química*, la *Geología*, la *Geografía*, etc. Nuestro objeto es dar unas nociones generales acerca de este punto, pues habiéndolas dado sobre la constitución del Sol, y dándolas más adelante sobre la de la Luna y la de los otros Planetas, nos parece que el plan exige que las demos acerca de la constitución de la Tierra.

§ I. — *Constitución general de la Tierra.*

250. ELEMENTOS GENERALES DEL GLOBO TERRESTRE.—
Como hemos dicho en otro lugar, el globo terrestre tiene la

figura de una esfera, ligeramente aplanada por los polos y ensanchada por el ecuador, esto es, un esferoide. El conjunto de los elementos de este esferoide está distribuido en una cubierta ó envolvente gaseosa, *la atmósfera*; en una líquida, *las aguas*; en otra sólida, *la corteza terrestre*, y en el *núcleo central*.

La cubierta más exterior ó atmósfera rodea inmediatamente la superficie del globo, ó sean las cubiertas líquidas y sólida: su estudio ha sido hecho en la Introducción (número 9). Las aguas ocupan tres cuartas partes de la superficie terrestre; esto es, unos 575 millones de kilómetros cuadrados, de los 510 que comprende dicha superficie: se llaman *mares*. La corteza terrestre envuelve inmediatamente el núcleo y sobresale del nivel de los mares en una tercera parte, de la extensión superficial del globo (próximamente 135 millones de kilómetros cuadrados): se llama esta parte *propriamente* tierra. Por último, *el núcleo*, como lo indica su nombre, ocupa todo el centro del esferoide.

§ II.—*Estudio particular de los mares.*

251. CONSTITUCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS: PROFUNDIDAD DEL MAR: HIELOS PERPÉTUOS.—Basta inspeccionar, aunque sea ligeramente, un mapa-mundi, para saber que la extensión de los mares en el hemisferio austral de la Tierra es mayor que la que ocupan en el boreal. Las aguas que los forman, además del oxígeno é hidrógeno que constituyen el agua químicamente pura, contienen gases y sales diversas y otras materias minerales y orgánicas. Las sales que encierran, dan á las aguas marinas un sabor amargo, por el cual se distinguen de las aguas potables, existentes por regla general en la parte sólida.

El fondo del mar es tan accidentado como la tierra, encontrándose en él montes, llanuras, cavidades, etc. Con el objeto de conocer su profundidad se ha sondado innumerables veces y en diversos puntos, y bién puede decirse que las mayores profundidades obtenidas con exactitud no pasan de 8 á 9.000 metros, esto es, una cantidad próximamente

igual á la que se levantan sobre su nivel los montes más elevados (1).

A causa de la temperatura tan baja de las regiones polares, las aguas del mar se encuentran solidificadas en los paralelos de 81° de latitud N. y 71° de latitud S. Forman, pues, á partir de los paralelos citados dos grandes bancos de hielo, los cuales han impedido hasta hoy que atrevidos viajeros y exploradores lleguen á los polos de nuestro globo.

252. MOVIMIENTOS DE LAS AGUAS DEL MAR: OLEAJE: CORRIENTES: NOCIONES SOBRE LAS MAREAS.—Las aguas del mar están en perpetuo movimiento. El *oleaje* es un movimiento producido por los vientos, los cuales desde leve brisa que riza la superficie del mar, hasta furioso vendabal que levanta montañas de agua, producen todos los movimientos intermedios. Este oleaje afecta únicamente á la superficie, pues sus efectos no son sensibles más allá de 30 metros de profundidad.

Las *corrientes marinas* son unos movimientos de las aguas del mar en ciertas y determinadas direcciones, ocasionados por la diferencia de temperatura y densidad de las aguas y por el movimiento de rotación de la Tierra. Hay tres *generales*: la *ecuatorial*, cuya dirección es opuesta á la del movimiento de rotación de nuestro globo, y que tiene lugar entre los trópicos, y las dos *polares*, que bajan de los polos hacia el ecuador á llenar el vacío que deja en la región intertropical la gran evaporación de las aguas del mar en dicha región. Entre las *particulares*, en cuya producción influyen numerosas causas, como la configuración de las costas, las comunicaciones de unos mares con otros, etc., son dignas de mencionarse las del *Gulf-Stream* en el Atlántico, de *Kiro-Sivo* ó *Río Negro* en el Pacífico y de *Mozambique* en el Indico.

Son las *mareas* unos movimientos regulares y periódicos de las aguas del mar que se verifican en 24^h 50^m. En vir-

(1) Sondeos más recientes hechos por los Americanos parecen dar una profundidad de unos 15.000 metros al Océano Pacífico.

tud de este movimiento las aguas del mar se elevan y ascienden progresivamente sobre las costas durante unas 6^h, y descienden ó se retiran durante otras 6. El movimiento ascendente recibe el nombre de *flujo*, y *reflujo* el descendente. Al alcanzar las aguas su mayor altura sobre las costas parecen quedar *estacionadas* durante 10 ó 15^m: esta especie de *descanso* se llama *pleamar*; *bajamar* el mismo fenómeno, cuando las aguas han obtenido su mayor descenso. Resulta de lo dicho que una *pleamar* dista de otra *pleamar* y una *bajamar* de otra *bajamar* unas 12^h $\frac{1}{2}$; así como una *pleamar* dista de la *bajamar* inmediata, y una *bajamar* de la inmediata *pleamar* unas 6^h $\frac{1}{4}$. *Mareómetro* es el aparato que se emplea, para medir la intensidad de las mareas en un punto dado.

El fenómeno de las mareas no recibió una explicación satisfactoria y rigurosamente científica hasta que no fué conocida la gravitación universal. Para hacerse cargo de esta explicación, siquiera sea de un modo general, sea T

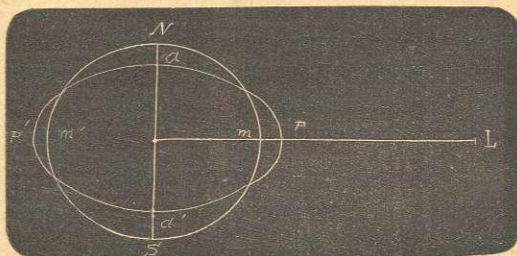


FIG. 152.—TEORÍA DE LAS MAREAS.

(Fig. 152) la Tierra, y L la Luna en el momento de su paso por el meridiano de un lugar *m*, situado en la zona tórrida. En virtud de la atracción lunar y de la gran movilidad de las

aguas, estas tenderán á separarse de la superficie terrestre, dirigiéndose hacia la Luna. Se elevarán por consiguiente y producirán en *m* una *pleamar*. Pero la atracción lunar no se ejerce solamente sobre la parte de la superficie terrestre que mira á la Luna; antes bien, llega al centro de la Tierra y se extiende hasta el hemisferio opuesto. Por otra parte, en virtud de la ley de la gravitación la atracción lunar será mayor en *m* que en T y en T mayor que en *m'*. Esto supuesto, se comprende bien que las aguas situadas en *m'* tenderán á separarse de T y á elevarse en P', donde producen otra *pleamar*. En los puntos *a* y *a'*, situados en los

extremos del diámetro terrestre perpendicular á TL, las aguas son atraídas por la Luna con la misma intensidad que en T y por consiguiente en ellas no hay *pleamar*; en cambio hay *bajamar*, porque estas aguas se dirigen hacia P y P'. Demuestra el cálculo que, si la Tierra y la Luna estuviesen inmóviles, las aguas del mar tomarían la forma de un elipsoide PaP'a' alargado hacia la Luna. Teniendo ahora en cuenta que el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de la Luna por el meridiano de un punto es próximamente de 24^h 50^m, se comprenderán bien las circunstancias de tiempo, anteriormente anotadas, entre las *pleamares* y *bajamares* en un punto dado.

Además de la atracción lunar influye en la producción de las mareas la atracción solar. Aunque el Sol se encuentra mucho más separado de la Tierra que la Luna, sin embargo su atracción se hará sentir en este fenómeno, puesto que su masa es mucho más considerable que la de la Luna. Así es en efecto, y por el cálculo se obtiene que su acción es próximamente igual á la mitad de la lunar.

Combinanse, pues, las dos mencionadas acciones en la producción de las mareas, y por esta razón tienen lugar las *mayores*, cuando la Luna y el Sol se encuentran próximamente en línea recta, lo cual se verifica en los *novilunios* y *plenilunios*, y las *menores*, cuando el radio vector del Sol es perpendicular al de la Luna, ó sea, en los *cuartos crecientes* y *menguantes* de este Satélite de la Tierra.

Para concluir esta ligerísima idea sobre las mareas, hemos de advertir: 1.º, que las *pleamares* no tienen lugar en el momento preciso del paso de la Luna por el meridiano, sino un poco después, lo cual es debido á que la atracción no se ejerce instantáneamente; 2.º, que generalmente las mareas no se extienden más que hasta los paralelos de 65º de latitud N. y S., particularidad que se debe á que la atracción lunar se ejerce en la zona tórrida y sus influencias no pasan de los 65º de latitud, y 3.º, que este fenómeno experimenta grandes modificaciones, producidas por la extensión y configuración de las costas, profundidad del mar, proximidad á los puertos, etc. etc.

§ III.—*Estudio particular de la corteza terrestre.*

253. CONSTITUCIÓN DE LA TIERRA PROPIAMENTE DICHA: ROCAS.—La corteza terrestre está constituida por un gran número de masas minerales, cuya naturaleza es muy variada. Designanse estas masas con el nombre de *rocas*, y se distinguen unas de otras, bien por su naturaleza química, bien por el estado de agregación de sus moléculas. Así, las rocas de *granito* son duras y consistentes, mientras que las de *arcilla* son blandas y las de *arena* sueltas y sin cohesión.

Divídense las rocas, atendidas las causas que han intervenido en su formación, en *ígneas* ó *plutónicas*, *neptónicas* ó *de sedimento* y *metamórficas*. Compuestas las primeras de minerales cristalizados y agregados sin simetría aparente, presentan el aspecto de masas irregulares de minerales heterogéneos, los cuales habiéndose encontrado durante algún tiempo en estado de fusión, se han enfriado con lentitud. Son sus principales especies los *granitos*, los *pórfidos* y los *basaltos*, encontrándose principalmente en el centro de las grandes montañas y debajo de las capas de sedimento. Las rocas neptónicas se presentan en capas más ó menos horizontales y están compuestas de minerales depositados lentamente por la acción de las aguas. Sus especies más comunes son las *calizas*, las *arenas* y las *arcillas*, las cuales suelen encontrarse en las llanuras y sobre los flancos de las montañas. Las metamórficas participan del carácter de las ígneas y de las neptónicas, siendo como las primeras más ó menos cristalinas en su disposición interior, y como las segundas estratificadas en su disposición exterior: son, pues, rocas neptónicas, cuya estructura ha sido modificada por la acción de un calor intenso.

Con frecuencia las rocas de sedimento se ven rotas, y sus capas atravesadas y dislocadas por las rocas ígneas, las cuales se intercalan entre ellas, elevándose á veces sobre su nivel y formando los picos y cumbres de las montañas. La figura 153 muestra lo que hemos dicho en este número.

254. ALTURA Y ALTITUD DE LAS MONTAÑAS: PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINARLAS.—Llámase *altura* de una montaña

la distancia que hay desde su base á su cima. No debe confundirse con la *altitud*, que es la altura de la cima sobre el nivel medio del mar. La altitud de una montaña puede obte-



FIG. 153.—CORTEZA TERRESTRE.

nerse, ó por observaciones barométricas, ó por nivelaciones sucesivas ó por procedimientos matemáticos. En el cuadro siguiente damos la altitud de la montaña más elevada en cada una de las cinco partes en que se divide la Tierra, y además las altitudes de las dos montañas más elevadas de España.

Nombres de las montañas.	Partes de la Tierra.	Altitudes Metros.
Gaurisankar (Himalaya).	Asia.	8.840
Tupungato (Andes).	América.	6.842
Kilimandjaro.	Africa.	6.096
Mont-Blanc (Alpes).	Europa.	4.800
Alpes Australianos (Australia).	Oceanía.	4.372
Pico de Tenerife.	España (Canarias).	3.710
Pico de Mulhacen (Sierra Nevada).	España.	3.554

255. VOLCANES: SUS ESTADOS.—Un fenómeno digno de atención es el que ofrecen los *volcanes*. Son estos unas montañas, generalmente de forma cónica, que por una ó más aberturas, denominadas *cráteres*, arrojan continuamente ó de tiempo en tiempo humo, fuegos y minerales en fusión que se llaman *lava*. Se clasifican por su estado en *activos* y

extinguidos ó apagados. Los primeros (*Fig. 154.*) son los que

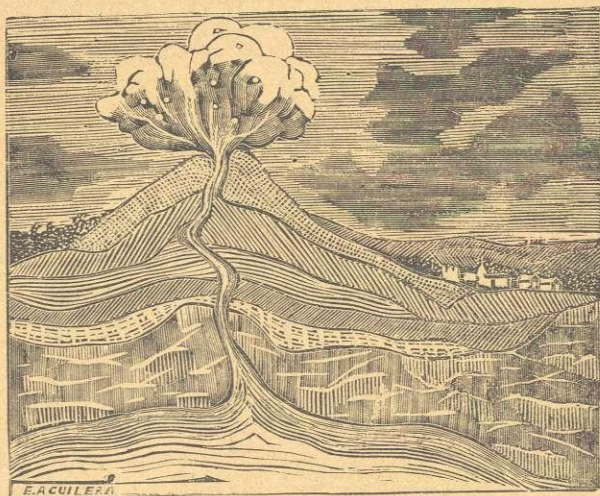


FIG. 154. — TEORIA DE LOS VOLCANES.

frecuentemente producen erupciones: los segundos no las producen en la actualidad, presentando únicamente su abertura crateriforme y á su alrededor lavas enfriadas. La figura 155 muestra el aspecto de estos volcanes extinguidos, que



FIG. 155.—VOLCANES EXTINGUIDOS DE AUVERNIA.

tanta semejanza ofrecen con las montañas crateriformes de la Luna, por cuya razón los hemos reproducido.

§ IV.—*Estudio particular del núcleo terrestre.*

256. CONSTITUCIÓN Y ESTADO DEL NÚCLEO CENTRAL DE LA TIERRA.—El núcleo central de nuestro globo está consti-

tuido por los mismos elementos que la superficie y según las opiniones dominantes en la ciencia se encuentra en estado de *fusión*, por lo cual se le dá el nombre de *pirósfera*. Ocupa la mayor parte del globo, pues según los datos más aceptables el espesor de la corteza terrestre es de unos 4.800 metros, ó sea $\frac{1}{132}$ del radio de la Tierra. Inducen á admitir el estado de incandescencia del núcleo los siguientes fenómenos:

1.º *Aumento de temperatura á medida que se profundiza en la corteza terrestre*. Es un hecho incontestable que hay una capa en el interior de la corteza terrestre, más ó menos profunda según los países y la naturaleza del suelo, donde la *temperatura es constante*. A partir de esta capa la temperatura aumenta á medida que se profundiza, acrecentándose 1 grado por cada 33 metros. Consiguientemente á este hecho la temperatura será de 100 grados á los 3 kilómetros, y de 3.000 á los 100, temperatura suficiente para fundir todos los cuerpos simples que nosotros conocemos.

2.º *Dislocaciones y cambios de la corteza terrestre*. Es otro hecho cierto que la corteza terrestre experimenta cambios y dislocaciones en virtud de los terremotos y erupciones volcánicas; volcanes y terremotos que se explican muy bien suponiendo que el núcleo central se encuentra en estado incandescente y que tiende á abrirse paso al exterior del globo. Por esto suelen llamarse los volcanes *válvulas de seguridad* de la Tierra (1).

(1) Al estudiar la constitución de nuestro globo, surgen ante nuestra inteligencia los grandes problemas geológicos, paleontológicos y prehistóricos, pero no caben en el plan que nos hemos propuesto. Recomendamos á nuestros alumnos y lectores la excelente obra *Manual de Arqueología Prehistórica* (Sevilla, 1890) de nuestro querido y respetable maestro, Dr. D. Manuel de la Peña y Fernandez, Pbro., en la cual se encuentran admirablemente planteados y perfectamente desenvueltos los mencionados problemas, al par que pulverizados todos los argumentos de los enemigos de la verdad católica.

ARTÍCULO VIII.

REPRESENTACIÓN DE LA TIERRA.

Para concluir el estudio de nuestro globo es necesario que demos algunas nociones sobre los procedimientos que se emplean para representarlo. Estos no difieren sustancialmente de los que se emplean para representar la esfera celeste y que hemos indicado en el cap. V de la Uranología, á saber; *globos* y *mapas ó cartas*. Supuesto el conocimiento del capítulo mencionado, pasamos á completar las nociones allí expuestas.

§ I.—*Globos terrestres.*

257. GLOBOS TERRESTRES. — Como lo indica suficientemente su nombre, un *globo terrestre* no es más que un globo de cartón, de madera ó de otra materia cualquiera sobre el cual se han representado los continentes y los mares con los principales detalles que encierran. De este modo se consigue poder abarcar en una sola ojeada la distribución de las tierras y las aguas en el globo terráqueo.

258. CONSTRUCCIÓN DE LOS GLOBOS TERRESTRES. — Hemos dicho en otro lugar que, así como cada astro tiene su máximo de ascensión y su paralelo de declinación, así también cada punto de la Tierra tiene su meridiano y su paralelo de latitud. La construcción de un globo terrestre se realiza por consiguiente de la misma manera que la de un globo celeste, con la única y natural diferencia de emplear las coordenadas terrestres, longitud y latitud geográficas, en vez de las celestes, ascensión recta y declinación. Gozan los globos terrestres de las mismas ventajas que los celestes y participan de los mismos inconvenientes, excepto el de presentar invertidas las partes de la esfera representada, puesto que los continentes, islas, mares, ríos, etc., que aquí

se representan están situados, como el observador, en el exterior de la esfera.

Al construir los globos terrestres no se tiene en cuenta el achatamiento de la Tierra. Se comprenderá bien la razón de despreciar este achatamiento, si se observa que, dado su pequeño valor núm. 209, no sería sensible á la vista más perspicaz. Así, si, al construir un globo terrestre de un metro de diámetro, se tuviese en cuenta su achatamiento, la diferencia entre el eje mayor y el menor del esferoide construido sería de un milímetro y medio.

§ II.—*Mapas geográficos.*

259. MAPAS GEOGRÁFICOS: SUS CLASES.—Se llama *mapa geográfico* la representación de toda ó parte de la Tierra en una superficie plana. Atendida su extensión, se denominan *mapa-mundi*, *planisferios* ó *universales*, si representan toda la Tierra; *generales*, si una parte del mundo, como Europa; *particulares*, si una nación, como España; *corográficos*, si una provincia, como la de Sevilla; y *topográficos*, si una región más reducida. Atendido su objeto, suelen denominarse *marinos*, *militares*, *geológicos*, *hidrográficos*, etc.

260. CONSTRUCCIÓN DE LOS MAPAS UNIVERSALES.—Para construir un mapa-mundi ó un mapa que represente un hemisferio, se emplean las proyecciones *perspectivas*. Hemos de advertir que por regla general la proyección ortogonal ú ortográfica solo se emplea, cuando se trata de hacer el mapa del hemisferio visible de la Luna, utilizándose la estereográfica, cuando se construye un planisferio celeste ó terrestre; el primero se proyecta generalmente sobre el plano del ecuador y el segundo sobre el de un meridiano. Nos limitaremos, pues, á indicar, cómo se proyecta ortográficamente un hemisferio sobre el plano de un meridiano y estereográficamente sobre el plano del ecuador y el de un meridiano.

1.º *Proyección ortográfica de un hemisferio sobre el plano de un meridiano.*—En virtud de la naturaleza y propiedades de la proyección ortográfica, cuando se trata de proyectar un hemisferio sobre el plano de un meridiano, el

ecuador se proyecta en una línea recta horizontal; el meridiano central en otra recta, perpendicular á la anterior; los paralelos en líneas rectas, paralelas á la proyección del ecuador, y los demás meridianos en semielipses, cuyo eje mayor común á todas es la proyección del meridiano central y cuyo semieje menor es una parte de la proyección del ecuador, variable en relación con la oblicuidad del meridiano que se proyecta: esta cantidad variable es igual en cada caso particular al coseno de la longitud del meridiano que se proyecta.

Para construir un mapa por este procedimiento, se trazan dos rectas PP' y EO (*Fig. 156*), perpendiculares entre sí: PP' es la proyección del meridiano central y EO la del

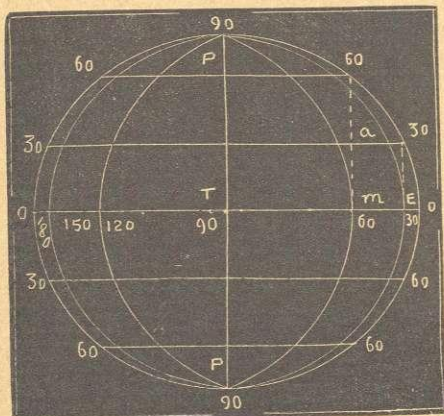


FIG. 156.—PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA DE UN HEMISFERIO SOBRE UN MERIDIANO

ecuador. Haciendo centro en T , punto donde se cortan las dos rectas trazadas, y con radio arbitrario se describe una circunferencia $EPOP'$, que represente el plano del meridiano, sobre el cual se proyecta el hemisferio. Hecho esto, falta sólo proyectar los paralelos y meridianos. Para obtener la proyección de un paralelo cualquiera, por ej. el de 30° N., se toman sobre el meridiano de proyección á partir de E y O y en la dirección EP y OP , dos arcos Ea y Oa' iguales á 30° ; se unen los dos puntos a y a' por una recta, y esta será el paralelo pedido. En efecto; el paralelo que se desea proyectar, dista del ecuador 30° medidos en arco de meridiano, y la línea aa' dista de EO 30° medidos en el meridiano de proyección. Así se pueden construir todos los paralelos. Para obtener la proyección de un meridiano, por ej., el de 60° , se toma, á partir de E y en la dirección EP ó EP' , un arco $E60$ igual á 60° ; y por el punto 60 se baja

el ecuador. Haciendo centro en T , punto donde se cortan las dos rectas trazadas, y con radio arbitrario se describe una circunferencia $EPOP'$, que represente el plano del meridiano, sobre el cual se proyecta el hemisferio. Hecho esto, falta sólo proyectar los paralelos y meridianos. Para obtener la proyección de un paralelo cualquiera, por ej. el de 30° N., se toman sobre el meridiano de proyección á partir de

una perpendicular $60m$ á EO . Construyendo una semielipse PmP' , que tenga por eje mayor la recta PP' y por semi-eje menor la Tm , se tendrá la proyección del meridiano pedido. En efecto; la semielipse PmP' tiene por eje mayor la recta PP' y por semi-eje menor la Tm , que es el coseno del arco $E60$, cuyo valor es de 60° por construcción, y como la proyección del meridiano de 60° de longitud ha de ser una semielipse cuyo eje mayor sea PP' y cuyo eje menor sea una parte de EE' , partiendo de T é igual al coseno del ángulo de 60° , es claro que la semielipse PmP' es la proyección del meridiano de 60° . Así se pueden proyectar todos los meridianos.

Como se observa en la figura el plano de proyección, ó sea el mapa, resulta cubierto de una red de líneas rectas y curvas que representan el ecuador, los meridianos y los paralelos: esta red se llama *canevas*, el cual varía según la proyección que se utiliza. Construido el *canevas* no queda más que colocar sobre el mapa los detalles del hemisferio, que se proyecta con arreglo á sus grados de longitud y latitud.

2.º *Proyección estereográfica de un hemisferio sobre el plano del ecuador.*—Antes de indicar cómo se proyecta un hemisferio estereográficamente, mencionaremos, sin demostrarlos, los dos principios fundamentales de toda proyección estereográfica.

1.º En toda proyección estereográfica los ángulos que forman dos curvas cualesquiera sobre el hemisferio proyectante son iguales á los que forman sus proyecciones sobre el plano de proyección (1).

2.º En toda proyección estereográfica la proyección de un círculo, situado en el hemisferio proyectante, es otro círculo, cuyo radio es variable, según la oblicuidad del plano del círculo que se proyecta en relación con el plano del círculo de proyección, y cuyo centro es la proyección del vértice de un cono circunscrito á la esfera, teniendo por base el círculo que se proyecta; el círculo proyectado se convierte en una línea recta, cuando el plano del círculo que se proyecta pasa por el punto de mira.

(1) El ángulo que forman dos curvas sobre una esfera es el que forman las dos tangentes á dichas curvas.

En virtud de la naturaleza y propiedades de la proyección estereográfica, cuando el plano de proyección es el ecuador, un meridiano se proyecta en un radio, conservándose entre las dos proyecciones de dos meridianos el mismo ángulo que forman dichos meridianos, y un paralelo se proyecta en un círculo, cuyo centro será el mismo del ecuador que sirve de plano de proyección y cuyo radio variará según la latitud de dicho paralelo.

Para construir un mapa por este procedimiento se describe un círculo EE' (Fig. 157) de radio arbitrario que re-

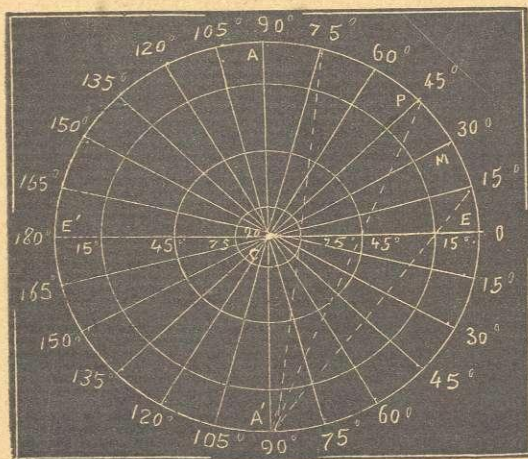


FIG. 157.—PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE UN HEMISFERIO SOBRE EL PLANO DEL ECUADOR

presente el ecuador, ó sea el plano de proyección; se marca el centro C , y se traza un radio CE que represente la proyección del primer meridiano. El centro C es la proyección del polo y el radio CE' la proyección del meridiano opuesto al primero. Para proyectar un meridiano cual-

quiera, por ej. el de 30° de long. oriental, se toma á partir de E y en la dirección EA un arco EM igual á 30° ; el radio CM es la proyección del meridiano pedido, puesto que CM forma con CE un ángulo ECM igual á 30° , que es el valor del ángulo formado con el primer meridiano por el meridiano de 30° . Así se construyen los demás meridianos; cuando la longitud sea occidental se toman los arcos en la dirección EA' . Para proyectar un paralelo cualquiera, por ej. el de 45° , se toma á partir de E y en cualquiera dirección un arco EP igual á 45° ; se une el punto P con el A' , punto medio del semicírculo $EA'E'$ opuesto al semicírculo $E'AE$ donde se

encuentra el punto P. La línea PA' cortará la proyección del primer meridiano en un punto 45. Por tanto, trazando desde C, como centro, un círculo con el radio C45, tendremos la proyección del paralelo pedido. Así se construyen los demás paralelos.

La proyección estereográfica sobre el plano del ecuador se emplea principalmente, como hemos dicho antes, para la

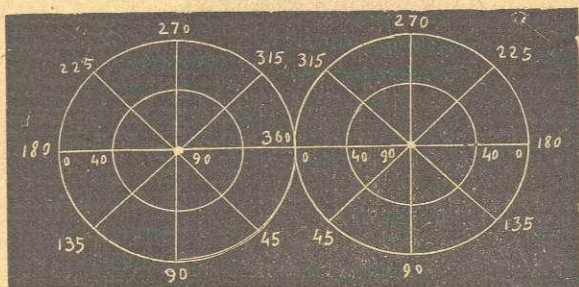


FIG. 158.—PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA ECUATORIAL.

construcción de los planisferos celestes. Se proyectan los dos hemisferios y se unen como indica la figura 158.

3.º *Proyección estereográfica de un hemisferio sobre el plano de un meridiano.*—En virtud de la naturaleza y propiedades de la proyección estereográfica, cuando el plano de proyección es un meridiano, el ecuador se proyecta en una línea recta horizontal y el meridiano central del hemisferio proyectante en otra recta perpendicular á la anterior. Los demás meridianos se proyectan en arcos de círculo, que forman en el plano del mapa con la proyección del primer meridiano ángulos iguales á los formados por los meridianos á que corresponden. Por último, los paralelos de latitud se proyectan en arcos de círculo que tienen su centro en la prolongación de la proyección del meridiano central, puesto que en él se encuentra el vértice de un cono que se circunscribe á la esfera y que tuviese por base el paralelo que se proyecta.

Esto supuesto, para construir un mapa por este proce-

dimiento se trazan sobre un plano (*Fig. 159*) dos rectas indefinidas NS y EE' perpendiculares entre sí, siendo la primera la proyección del meridiano central y la segunda la del ecuador. Haciendo centro en T, punto donde se cortan, se describe un círculo con radio arbitrario, que representará el meridiano escogido como plano de proyección. Para construir un meridiano cualquiera, por ejemplo el de 30°, se traza en el plano del mapa y en el lado opuesto del meridiano central una recta que forme con la proyección del meridiano central un ángulo de 30°. Esta recta cortará la proyección del ecuador en un punto. Se hace centro en este punto y con un radio igual á N180 se describe el arco de círculo N30S, que será la proyección del meridiano pedido. En efecto la proyección del meridiano de 30° ha de ser un arco de círculo que pase por los puntos N y S y ha de formar con NES un ángulo de 30°, condiciones que se realizan en el arco de círculo descrito. Así se construyen los demas meridianos. Para construir un paralelo, por ejemplo el de 30°, se toman á partir de E y E' y en la dirección EN ó ES, según que la latitud sea N. ó S., dos arcos iguales á 30°, y se trazan dos tangentes á la circunferencia NESE' por los puntos A y A'. Estas tangentes se encontrarán en el punto S'', prolongación de la proyección del meridiano

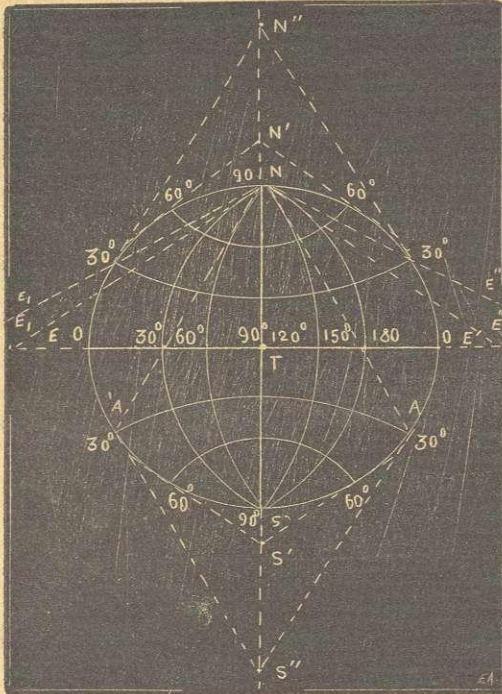


FIG. 159.—PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE UN HEMISFERIO SOBRE EL PLANO DE UN MERIDIANO.

ángulo de 30°. Esta recta cortará la proyección del ecuador en un punto. Se hace centro en este punto y con un radio igual á N180 se describe el arco de círculo N30S, que será la proyección del meridiano pedido. En efecto la proyección del meridiano de 30° ha de ser un arco de círculo que pase por los puntos N y S y ha de formar con NES un ángulo de 30°, condiciones que se realizan en el arco de círculo descrito. Así se construyen los demas meridianos. Para construir un paralelo, por ejemplo el de 30°, se toman á partir de E y E' y en la dirección EN ó ES, según que la latitud sea N. ó S., dos arcos iguales á 30°, y se trazan dos tangentes á la circunferencia NESE' por los puntos A y A'. Estas tangentes se encontrarán en el punto S'', prolongación de la proyección del meridiano

central. Haciendo centro en S'' y con un radio S''A se describe el arco de círculo AA', que será la proyección del paralelo pedido. En efecto; la proyección del paralelo de 30° ha de ser un arco de círculo, cuyo centro esté en la prolongación de la proyección del meridiano central, y ha de distar de la proyección del ecuador un arco del meridiano de proyección igual á 30°; condiciones que se cumplen en el arco de círculo descrito.

Como hemos dicho anteriormente, la proyección estereográfica sobre el plano de un meridiano se emplea principalmente, para la construcción de los planisferios terrestres. Escógese de intento un meridiano que pase por el Atlántico

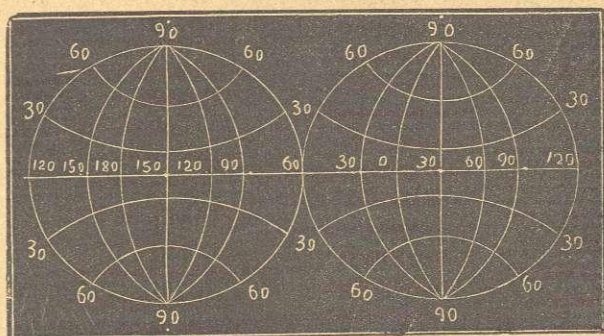


FIG. 160.—PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA ECUATORIAL.

y el Pacífico, con lo cual se consigue que los continentes é islas principales queden proyectadas en ambos hemisferios, y se unen estos, como indica la figura 160.

261. CONSTRUCCIÓN DE LOS MAPAS PARTICULARES.— Cuando se trata de construir el mapa de una Nación determinada se utilizan las proyecciones *por desarrollo*; que, como sabemos, pueden ser por desarrollo *cilíndrico ó cónico*.

Esto supuesto, daremos una noción ligera del *desarrollo cónico*, que es el generalmente empleado.

Sea $a'b'b''a''$ (Fig. 161) una región de la superficie te-

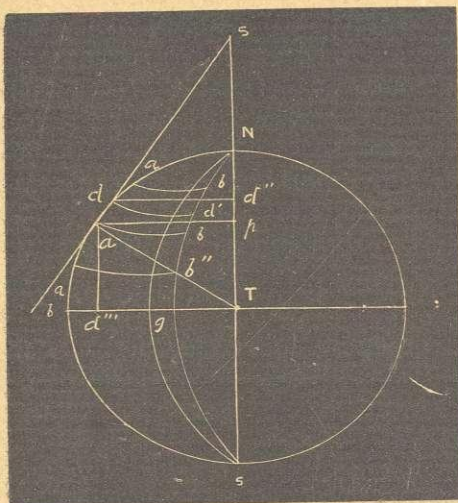


FIG. 161.—DESARROLLO CÓNICO (A)

paralelo medio de dicha porción terrestre, que en este caso será el ab . No hay necesidad de advertir que el vértice de un cono circunscrito á la Tierra y tangente según un paralelo ha

de estar en la prolongación del eje de la Tierra. Aquí lo representa el punto S , siendo la línea Sa una generatriz de dicho cono.

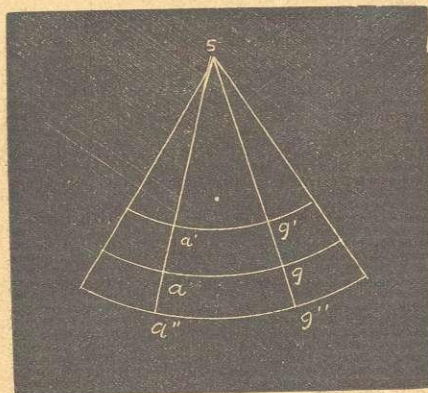


FIG. 162.—DESARROLLO CÓNICO (B).

uno de los extremos. Para representar un paralelo cualquiera, por ej. ab se hace centro en S y con una abertura de

Uno de los procedimientos más sencillos que se indican para desarrollar en un plano esta porción $a'b'b''a''$ consiste en trazar desde luego sobre el plano una recta Sa'' (Figura 162) que represente un meridiano; aquí representa

compás igual á Sa , tomada sobre la generatriz del cono circunscrito, se describe un arco ag , el cual representará en el mapa el paralelo ab . Así se trazan todos los paralelos. Para representar un meridiano cualquiera basta tomar sobre el paralelo medio representado un arco ag igual al arco del paralelo medio ab , comprendido entre el meridiano ya representado y el que se desea representar, y trazar desde el punto S una recta que pase por el punto g : la recta Sg así trazada representa el meridiano pedido, puesto que los arcos del paralelo medio se transforman sobre el plano en arcos iguales.

Es fácil observar que el anterior procedimiento no indica, cómo puedan obtenerse los valores de los radios con que han de trazarse los paralelos. Dichos valores están dados en las dos fórmulas siguientes:

Para el paralelo medio

$$\rho = \cotang. \lambda$$

Para otro paralelo cualquiera

$$\rho' = \frac{\operatorname{cosec.} \lambda - \operatorname{sen.} \lambda}{\cos. \lambda}$$

en las cuales ρ representa el radio con que ha de trazarse el paralelo medio; ρ' el de otro paralelo cualquiera; λ la latitud del paralelo medio, y λ' la del otro paralelo.

En efecto:

1.º La latitud del paralelo medio ab es (núm. 199) el arco Ea , que es complemento del arco aN . Ahora bien; Sa es la tangente trigonométrica del arco aN , y por consiguiente cotangente del arco Ea ; luego

$$Sa = \cotang. Ea \quad \text{ó} \quad \rho = \cotang. \lambda$$

2.º Trazando la recta aT , el ángulo ETa es igual al TSa , por tener sus lados perpendiculares entre sí. Por otra parte el arco Ea es la medida del ángulo ETa ; se puede pues decir que λ es igual al ángulo

TSa. Sea ahora el paralelo dd' el que se quiere representar. Trazando la recta dd'' se tiene en el triángulo Sdd''

$$Sd' = Sd \cos. dSd''$$

de donde

$$Sd = \frac{Sd''}{\cos. dSd''}$$

ó

$$Sd = \frac{ST - d''T}{\cos. dSd''}$$

y también

$$Sd = \frac{\sec. aTS - d''T}{\cos. dSd''}$$

Mas como Sd es el radio con que se ha de trazar el paralelo dd' ; aTS es complemento de ETa ; $d''T$ es igual á dd'' , ó sea al seno del arco Ed , que es la latitud del paralelo dd' , y por último dSd'' es igual á ETa , la fórmula anterior se puede expresar del modo siguiente:

$$Sd = \frac{\operatorname{cosec.} ETa - \operatorname{sen.} Ed}{\cos. ETa} \quad \text{ó} \quad \rho' = \frac{\operatorname{cosec.} \lambda - \operatorname{sen.} \lambda'}{\cos. \lambda}$$

Pueden darse también fórmulas trigonométricas para la construcción de los meridianos, pero nuestro plan no nos permite detenernos más tiempo en esta materia, así como tampoco en la exposición del desarrollo cilíndrico, ni en los demás procedimientos que modifican estas proyecciones generales.

Terminamos este punto diciendo que Flamsteed ha modificado el desarrollo cónico, que Cassini ha modificado el cilíndrico, y que los *mapas marinos* se construyen con arreglo á un sistema de proyección particular introducido por Mercator; sistema que permite á los navegantes seguir con facilidad la *loxodromía*, esto es, la curva, que pasando por el puerto de salida y de llegada corta todos los meridianos que la cruzan bajo un mismo ángulo. (1)

(1) Fijense nuestros alumnos en que por regla general la navegación no se hace siguiendo el arco de círculo máximo que pasa por el puerto de salida y de llegada y que es el camino más corto entre ambos puertos, sino siguiendo la *loxodromía*. Puede consultarse *Cours d'Astronomie et de Navigation* de E. Dubois.

262. ESCALA EN LOS MAPAS.—En general se llama *escala* en los mapas la relación que existe entre las dimensiones del mapa y las del terreno en él comprendido. Así, un mapa construido en la escala $\frac{1}{80.000}$ es una representación en que cada metro del mapa equivale á 80.000 del terreno.

Las más empleadas son las llamadas *escalas gráficas*, que no son sino “líneas rectas divididas en partes iguales, representando las unidades de medida del terreno, sus múltiples y sub-múltiplas, y que se hallan con la verdadera magnitud de aquellas en la relación numérica adoptada, la que toma el nombre de *razón numérica* de la escala,” (1).

Las *medidas itinerarias* usadas son muy varias según los países, variando también en un mismo país según el tiempo. Damos las principales en el cuadro siguiente:

NOMBRES.	Países en que principalmente se emplean.	Equivalencia en metros.
<i>Kilómetro</i> (111'13 al grado)	En varios	1.000.
<i>Miriámetro</i> .	» »	10.000.
<i>Legua</i> de 18 al grado.	Portugal	6.174.
<i>Legua</i> de 20 al grado.	España	5.557.
<i>Legua</i> de 25 al grado.	Francia	4.445.
<i>Milla marina ó geográfica</i> de 60 al grado.	Italia	1.852.
<i>Milla</i> de 69 al grado.	Inglaterra	1.609.
<i>Wersta</i> de 104 $\frac{1}{4}$ al grado.	Rusia	1.067.
<i>Berri</i> de 66 al grado.	Turquía	1.476.

263. MAPA DE ESPAÑA.—No queremos terminar este artículo sin dar una idea, aunque sea ligera, del magnífico mapa de España que actualmente construye *El Instituto Geográfico y Estadístico*.

Este mapa, que por lo que de él se conoce ha de ser su-

(1) *Curso de Topografía y Elementos de Geodesia* de D. Eusebio Sanz.—Tom. 1, pág. 16.

perior á todos los construidos hasta hoy, no se construye con sujeción á ningún sistema de proyección general; antes bien, como está distribuido en 1.078 hojas, se ha supuesto plana la parte de superficie terrestre que comprende cada una. Están ya puestas á la venta 115 y es de admirar en ellas una gran precisión y exactitud en las medidas y en el levantamiento y representación de los detalles topográficos.

Comprende cada hoja 10' en sentido de los meridianos y 20' en sentido de los paralelos: el tamaño, que varía de unas hojas á otras, oscila entre 0^m,58 y 0^m,60 en largo, y entre 0^m,37 y 0^m,40 en ancho, comprendiendo una superficie del terreno de 536,50 kilómetros cuadrados. La escala adop-

tada es de $\frac{1}{50.000}$.

CAPITULO III.

LA LUNA

Estudiada la Tierra en el capítulo anterior nada más natural que ocuparnos ahora en el estudio de la Luna, la cual acompaña á nuestro globo en su marcha por los espacios alrededor del Sol. El estudio de la Luna es además muy interesante, puesto que es el astro más próximo á la Tierra, en la cual disipa las tinieblas durante la noche, produce el fenómeno de las mareas y ejerce otras muchas y notabilísimas influencias.

ARTÍCULO I.

NOCIONES GENERALES

264. ASPECTO DE LA LUNA Á LA SIMPLE VISTA: DESCRIPCIÓN DE LAS FASES.—Es un hecho de todos sabido que la Luna no se presenta constantemente con la misma forma, antes bien, ofrece al observador varios y diferentes aspectos, que se repiten periódicamente y que desde muy antiguo se conocen con el nombre de *fases de la Luna* (Fig. 163). Las

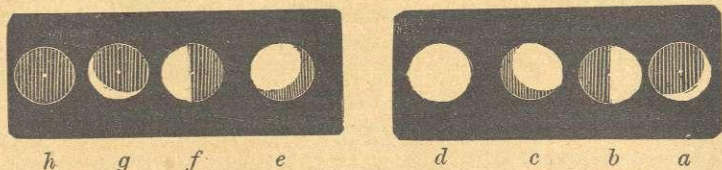


FIG. 163.—FASES DE LA LUNA.

principales fases son cuatro, á saber: *novilunio* ó *luna nue-*

va, cuarto creciente, plenilunio ó luna llena y cuarto menguante.

En el *novilunio* *h* la Luna no puede divisarse sobre la esfera celeste, puesto que sale y se pone con el Sol. A los dos ó tres días, después de la puesta del Sol y hacia Occidente, comienza á verse la Luna, afectando la forma *a* de la figura, esto es, la de una falce delgada, terminada la parte convexa por un arco circular y la cóncava por uno elíptico. Durante los días siguientes la parte iluminada aumenta, hasta que á los $7\frac{1}{2}$ días proximamente del novilunio afecta la forma *b* de la figura. En este momento comienza la segunda fase, ó *cuarto creciente*. El novilunio dura, pues, unos $7\frac{1}{2}$ días. Al comenzar el cuarto creciente la Luna pasa proximamente por el meridiano al ponerse el Sol.

Durante el cuarto creciente la parte iluminada aumenta constantemente, como lo indica la forma *c* de la figura, hasta que á los $7\frac{1}{2}$ días del cuarto creciente, ó unos 15 del novilunio, la Luna aparece como un disco circular *d*, saliendo al ponerse el Sol y pasando por el meridiano proximamente á las 12 de la noche. Esta tercera fase es el *plenilunio* ó *luna llena*.

A partir de este momento la Luna comienza á perder iluminación por la parte de su disco que mira á Occidente, como lo muestra la forma *e*, hasta que á los $7\frac{1}{2}$ días del plenilunio se presenta iluminada la mitad del disco y oscura la otra mitad, estando iluminada por el Oriente y oscura por el Occidente, como lo dá á conocer la forma *f*. Esta cuarta fase es el *cuarto menguante*, y al verificarse, la Luna pasa por el meridiano al salir el Sol.

Desde este momento la parte iluminada decrece constantemente, afectando la forma *g* de la figura, que es igual á la *a*, pero invertida, hasta que por último deja de verse.

Suelen llamarse *octantes* las fases secundarias *a*, *c*, *e*, *g*, intermedias entre las cuatro fases principales.

Si desde el cuarto creciente hasta el menguante se observa con algún cuidado y detenimiento el disco lunar se le verá cubierto de manchas, las cuales son por regla general de color gris en el hemisferio boreal y brillantes en el

austral. En estos contrastes ha visto el vulgo desde muy antiguo cierta semejanza con un rostro humano.

265. ASPECTO DE LA LUNA VISTA CON LOS ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.—Observando cuidadosamente la superficie lunar con un buen antejo ó telescopio, se nota que las manchas visibles á la simple vista tienen diversas formas, variando por lo general entre circulares y ovaladas, y que la línea que separa la porción iluminada de la oscura no es recta, sino quebrada é irregular, formada por dentellones ó mellas y asemejándose á una gigantesca *sierra*. Durante los dos ó tres días que preceden y siguen á los cuartos creciente y menguante su aspecto es verdaderamente espléndido; la luz invade ó abandona una porción del disco lunar y aparecen en la parte oscura puntos aislados y muy brillantes, cual ascuas de oro que intensamente resplandeciesen sobre un fondo oscuro.

ARTICULO II.

MOVIMIENTOS DE LA LUNA.

266. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LA LUNA.—Como hemos dicho en el número 105, la Luna participa del movimiento diurno de la esfera celeste y tiene además otro movimiento propio á través de las constelaciones. De aquí que sus movimientos puedan clasificarse en *aparente* y *verdaderos*.

§ I.—*Movimiento aparente de la Luna.*

267. ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE EL MOVIMIENTO DIURNO DE LA LUNA Y EL DE LAS ESTRELLAS.—Conviene el movimiento diurno de la Luna con el de las estrellas en que como estas sale por el Oriente, asciende, pasa por el meridiano, descende y se oculta por el Occidente. Difiere en que cambia rápidamente de posición con relación á ellas, puesto que su paso por el meridiano se retrasa de un día á otro unos 50^m,5 (valor medio); en que sus coordenadas ascen-

sión recta y declinación, longitud y latitud varían constantemente, y en que no alcanza todos los días la misma altura al pasar por el meridiano, variando por consiguiente su trayectoria aparente sobre el horizonte.

La altura de la Luna al pasar por el meridiano se obtiene por el mismo procedimiento que la del Sol (núm. 147). Advertimos que, siendo la altura del polo igual á la latitud en un punto dado (núm. 202), puede tomarse el complemento de la latitud, ó el complemento de la altura del polo, puesto que ambas cantidades tienen el mismo valor.

268. HORA DEL PASO DE LA LUNA POR EL MERIDIANO DE UN PUNTO DADO.—La hora del paso de la Luna por el meridiano superior de un punto dado puede obtenerse con gran facilidad. El Almanaque Náutico dá para cada día del año la hora del paso de la Luna por el meridiano superior de San Fernando y además el retardo de uno á otro día. Para obtener la hora del paso por el meridiano superior de otro punto, no hay más que hallar la parte proporcional de este retardo correspondiente á la longitud del nuevo meridiano expresada en tiempo, y sumarla ó restarla á la hora del paso por el de S. Fernando. Se *suma*, cuando la longitud es *occidental*; se *resta*, cuando es *oriental*.

El cálculo, sumamente sencillo, puede plantearse del siguiente modo:

1.º Se desea la hora del paso de la Luna por el meridiano de un punto, cuya longitud es de 2^h 0., el día 15 de Marzo de 1900. En este día la Luna pasa por el meridiano de S. Fernando á 11^h 47^m, 8, retardándose 41^m, 3.

Como la longitud es de horas, la proporción será la siguiente:

$$24^h : 41^m, 3 : : 2^h : x$$

de donde

$$x = \frac{2 \times 41,3}{24} = 3^m, 44$$

por lo tanto,

Paso de la Luna por el meridiano de S. Fernando. 11 ^h 47 ^m , 8	8
Parte proporcional <i>aditiva</i>	3 ^m , 44
Paso de la Luna por el nuevo meridiano.	11 ^h 51 ^m , 24

2.º Se desea la hora del paso de la Luna por el meridiano de un punto cuya longitud es de 40^m 0., en el día anteriormente citado. Como la longitud del nuevo meridiano no llega á una hora, las 24^h en que tiene lugar el retardo se expresarán para más facilidad en minutos; la proporción será, pues

$$1440^m : 41^m, 3 : : 40^m : x$$

de donde

$$x = \frac{40 \times 41, 3}{1.440} = 1^m, 147$$

por consiguiente,

Paso de la Luna por el meridiano de S. Fernando.	11 ^h 47 ^m , 8
Parte proporcional <i>aditiva</i>	1 ^m , 147
Paso de la Luna por el nuevo meridiano	11 ^h 48 ^m , 947

3.º Se desea la hora del paso de la Luna por el meridiano de un punto, cuya longitud es de 40^s E., en el día ya citado. Como la longitud del nuevo meridiano no llega á un minuto, las 24^h se expresarán en segundos, siendo la proporción

$$66.400^s : 41^m, 3 : : 40^s : x$$

de donde

$$x = \frac{40 \times 41, 3}{66.400} = 0^s, 248$$

por lo cual,

Paso de la Luna por el meridiano de S. Fernando.	11 ^h 47 ^m 48 ^s
Parte proporcional <i>sustractiva</i>	0 ^s , 248
Paso de la Luna por el nuevo meridiano	11 ^h 47 ^m 47 ^s , 752

Llamando *p* al paso de la Luna por el nuevo meridiano, *P* al paso por el de S. Fernando, *L* á la longitud del nuevo meridiano expresada en tiempo, *R* al retardo y *T* al tiempo del retardo, expresado en horas, minutos ó segundos, según los casos, los resultados anteriores se pueden generalizar en la siguiente fórmula

$$p = P \pm \frac{L \times R}{T}$$

§ II.—*Movimientos verdaderos de la Luna.*

269. **DIVERSOS MOVIMIENTOS DE LA LUNA.**—Tres son los principales movimientos verdaderos de la Luna: de *trastla-*



ción alrededor de la Tierra; de *rotación* sobre su eje, y de *balanceo*, llamado *libración*.

A.—*Traslación de la Luna alrededor de la Tierra.*

270. DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA LUNA AL TRAVÉS DE LAS CONSTELACIONES.—La trayectoria que sigue la Luna al través de las constelaciones en virtud de sus movimientos propios se determina por los mismos procedimientos que hemos indicado para determinar el movimiento ánuo del Sol (núm. 149). Así se obtiene sobre el globo ó mapa celeste empleado un círculo máximo que forma con la eclíptica un ángulo de $5^{\circ} 8' 48''$ (valor medio) y que la corta por consiguiente en dos puntos, llamados *nodos* de la Luna: *ascendente*, aquel en que la Luna pasa del hemisferio austral al boreal; *descendente*, aquel en que pasa del boreal al austral.

Háse comprobado por la comparación de numerosas observaciones que la Luna emplea en recorrer este círculo máximo, ó lo que es igual, que su longitud aumenta 360° en $27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 4^{\text{s}}$, 7 de tiempo medio. Si se relaciona este tiempo con el que emplea el Sol, al recorrer la eclíptica en su movimiento ánuo, se deduce que el movimiento de la Luna es unas 13 veces más rápido. Si se desea saber con que velocidad se mueve cada día nuestro satélite, basta resolver la proporción,

$$27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 4^{\text{s}}, 7 : 360^{\circ} : : 1^{\text{d}} : x$$

de donde

$$x = \frac{360^{\circ}}{27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 4^{\text{s}}, 7} = 13^{\circ} 10' 35'', 03$$

lo que dá para una hora $32' 56''$, 459 (valor medio, uno y otro).

271. MOVIMIENTOS DE LA LUNA EN LONGITUD Y EN LATITUD.—La Luna se mueve al través de las constelaciones con movimiento *directo*; su longitud aumenta por consiguiente de 0° á 360° durante el tiempo marcado en el número anterior. Su latitud también varía constantemente en relación

con la inclinación de su órbita sobre la eclíptica. Esta inclinación oscila entre $5^{\circ} 0' 1''$ y $5^{\circ} 17' 35''$; por consiguiente entre ambos valores oscila también la latitud de la Luna. Por lo demás en el transcurso de una revolución alrededor de la Tierra la latitud mencionada se anula dos veces (cuando la Luna está en los nodos), y dos veces alcanza su valor máximo, una en el hemisferio boreal y otra en el austral.

272. MOVIMIENTOS DE LA LUNA EN ASCENSIÓN RECTA Y EN DECLINACIÓN.—Así como la longitud de la Luna aumenta de 0° á 360° , así también y por la misma razón su ascensión recta aumenta de 0° á 360° . Las variaciones de nuestro satélite en declinación son más complicadas. Basta tener en cuenta, para convencerse de ello, que la órbita lunar forma con el ecuador celeste un ángulo que varía entre $18^{\circ} 10'$ y $28^{\circ} 45'$ en el transcurso de unos 9 años $\frac{2}{3}$, proximamente. Debido á estas variaciones de la oblicuidad de la órbita lunar la declinación máxima de la Luna oscila entre dichos valores y en el mismo tiempo. Por lo demás en el transcurso de una revolución alrededor de la Tierra, la declinación mencionada se anula dos veces (cuando la Luna corta el ecuador) y otras dos alcanza su valor máximo, una en cada hemisferio.

273. DIÁMETRO APARENTE DE LA LUNA: SUS VALORES.—Las diversas medidas del diámetro aparente de la Luna realizadas por los Astrónomos han dado por resultado que no presenta siempre el mismo valor; antes bien, que oscila entre $33' 34''$ y $29' 26''$, lo cual indica que la Luna está unas veces más próxima á la Tierra y otras más distante. Su valor á la distancia media de la Tierra es de $31' 8''$, 18.

274. VELOCIDAD ANGULAR DE LA LUNA: SUS VARIACIONES.—La velocidad angular de la Luna, al recorrer su órbita alrededor de la Tierra, no es uniforme, antes bien, sus variaciones son tan acentuadas que “apenas si se la puede considerar como uniforme en el corto espacio de una hora,

á causa de su rapidez y de las grandes desigualdades á que está sometida“ (1).

275. FORMA ELÍPTICA DE LA CURVA QUE LA LUNA DESCRIBE ALREDEDOR DE LA TIERRA.—Valiéndose de los distintos valores de la velocidad angular y del diámetro aparente de la Luna, y procediendo como lo hemos hecho con la velocidad angular y el diámetro aparente del Sol (núm. 154), se obtiene para la órbita que la Luna describe alrededor de la Tierra la forma de una elipse, de la cual ocupa la Tierra uno de los focos, y además se prueba que la Luna la describe en conformidad con las leyes de Kepler (núm. 19). El punto de esta elipse en que la Luna se encuentra *más próxima* á la Tierra se llama *perigeo*, y *apogeo* aquel en que está *más distante*: como ya sabemos, la línea que une el perigeo y el apogeo es el *eje mayor de la órbita* y también la *línea de los ápsides*.

276. PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA ÓRBITA LUNAR.—Habiendo indicado en el núm. 270 la inclinación de la órbita lunar sobre la eclíptica, damos aquí el valor de otros elementos de dicha órbita. Los datos, que se refieren á la época 0 Enero de 1850, están tomados del *Anuario del Bureau des Longitudes* (1900). Así, la *longitud del nodo ascendente* era en dicha época $146^{\circ}13'40''$. La *longitud del perigeo* $99^{\circ}51'52''$, 1; la *longitud de la época*, ó sea la *longitud de la Luna en dicha época* $122^{\circ}59'55''$; la *excentricidad de la órbita* $0^{\circ}05490807$, ó sea próximamente $\frac{1}{18}$, lo cual indica que la elipse descrita por la Luna es mucho más pronunciada que la descrita por la Tierra, cuya excentricidad es $\frac{1}{60}$. La *distancia media* de la Luna á la Tierra, ó sea el semieje mayor de la misma elipse era de 60,2745 radios terrestres ecuato-

(1) Tisserand y Andoyer, *Leçons de Cosmographie*, pág. 132.

riales; y por último la *inclinación de la órbita lunar* sobre la eclíptica era de $5^{\circ} 8' 47''$, 9.

277. EXPLICACIÓN DE LAS FASES.—Sabemos ya que la Luna gira alrededor de la Tierra; podemos ya también darnos cuenta exacta del fenómeno de las fases, indicado en el número 264. Obsérvese para ello la figura 164 donde para

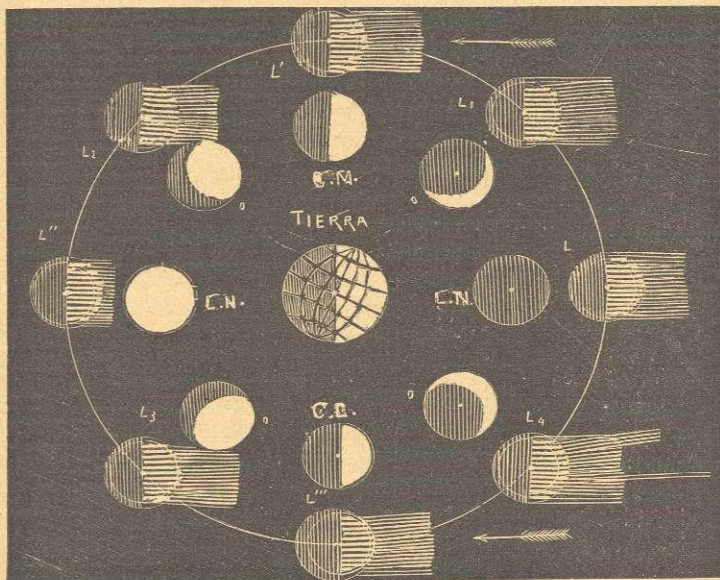


FIG. 164.— EXPLICACION DE LAS FASES DE LA LUNA.

más facilidad suponemos la órbita circular, la Tierra fija, y los rayos solares cayendo paralelos sobre la Luna y la Tierra en la dirección de las flechas.

Es evidente que los rayos solares que envuelven la Luna no iluminan en un momento dado sino uno de sus hemisferios, dejando sumido al otro en la oscuridad, y que ambos están separados por un círculo, llamado *círculo de iluminación*. Esto supuesto,

1.º Cuando la Luna se encuentra en L, el hemisfe-

rio que dirige á la Tierra es el opuesto al que dirige al Sol, ó sea el que está en la oscuridad: el habitante de nuestro globo no puede divisar la Luna sobre la esfera celeste. En esta primera posición hay por consiguiente un *novilunio* ó *Luna nueva*.

2.º A medida que la Luna se separa de L para acercarse á L_1 , los rayos solares, que conservan la misma dirección, invaden progresivamente el hemisferio que mira á la Tierra, al par que abandonan el opuesto, hasta que al llegar á L' se encuentran iluminados por mitad uno y otro hemisferio: el habitante de la Tierra ve un cuadrante. Hay pues en esta posición un *cuarto creciente*, porque la parte iluminada del hemisferio visible desde la Tierra aumenta.

3.º Por la razón aducida, cuanto más se separe la Luna de L' y se acerque á L_2 , mayor será la parte del hemisferio visible desde la Tierra que estará iluminada, hasta que al llegar á L'' , se encontrará todo él iluminado: el observador situado en la Tierra verá la Luna como un disco circular. Habrá por lo tanto en L'' un *plenilunio* ó *Luna llena*.

4.º Desde L'' hasta L_4 , se repiten los mismos fenómenos, pero invertidos; los rayos solares abandonan el hemisferio visible desde la Tierra paulatina y progresivamente. En L''' estará iluminada solamente la mitad del hemisferio visible y habrá *cuarto menguante*, disminuyendo cada vez más la parte iluminada á partir de este punto, hasta que al llegar á cero desaparece por completo la Luna, para dar lugar á otro novilunio.

Se llama *lunación*, el tiempo que media entre dos novilunios consecutivos: *edad de la luna* el número de días transcurridos desde el novilunio hasta aquel de que se trata.

278. OBSERVACIONES SOBRE LAS FASES DE LA LUNA.—
Bastan las nociones expuestas, para comprender las siguientes observaciones:

1.ª La parte iluminada de la Luna visible desde la Tierra está terminada en su parte exterior por un arco de

círculo, cuya convexidad se encuentra siempre del lado del Sol.

2.^a Los extremos de la parte visible, llamados vulgarmente *cuernos de la Luna*, están dirigidos hácia Oriente antes del cuarto creciente y hacia Occidente después del cuarto menguante.

3.^a En el novilunio la Luna está en conjunción con el Sol; en el plenilunio en oposición, y en los cuartos en cuadratura. La *conjunción* y la *oposición* tienen el nombre particular de *sizigias*: los cuartos el de *cuadraturas*.

279. SENTIDO DE LA TRASLACIÓN DE LA LUNA ALREDEDOR DE LA TIERRA.—Se comprende con facilidad por todo lo dicho que el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra es de Occidente á Oriente, ó sea en la misma dirección que el de la Tierra alrededor del Sol, el cual es opuesto, como se sabe, al de rotación aparente de la esfera celeste.

B.—*Movimiento de rotación de la Luna.*

280. EXISTENCIA DEL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DE LA LUNA SOBRE SU EJE.—Así como nos servimos de las manchas del Sol (núm. 159), para comprobar la rotación de este astro sobre su eje, así también nos serviremos aquí de las manchas que se observan en el disco de la Luna, para probar que nuestro satélite gira sobre sí mismo. Los caracteres que presentan las manchas lunares son contrarios á los examinados en las solares (núm. 173), puesto que no cambian de forma, ni de posición; no aumentan ni disminuyen en número; antes bien, son fijas y constantes sobre el disco lunar. Esto supuesto, sea T la Tierra (*Fig. 165*), P la posición de un observador sobre su superficie y L, L' dos posiciones de la Luna en su órbita. Cuando la Luna se encuentra en L, el observador vé una mancha l en la dirección del radio de la Luna lL. Cuando la Luna, al describir su órbita, se encuentra en L', el observador ve la misma mancha en la dirección del radio lunar l'L'. En uno y otro caso el observador ve la mancha en el centro del disco lunar.

Indican y prueban estas dos observaciones que la Luna gira sobre su eje. En efecto; si la Luna no hubiese girado

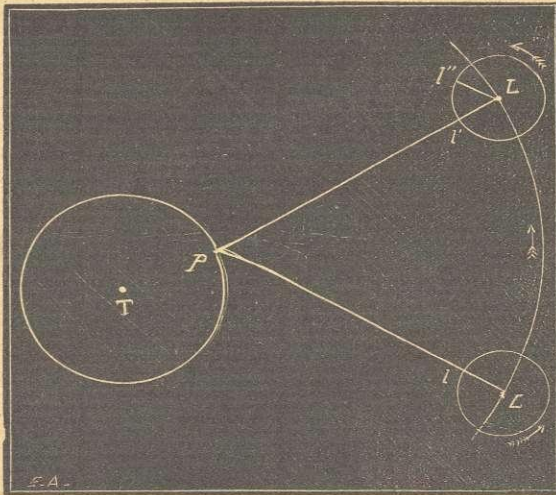


FIG. 165.—TEORÍA DE LA ROTACIÓN DE LA LUNA.

que la Luna ha empleado en recorrer el arco LL' de su órbita. Ahora bien, la mancha está fija sobre el disco lunar, por consiguiente la Luna ha girado sobre sí misma el valor del arco descrito por la mancha.

281. SENTIDO Y DURACIÓN DEL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DE LA LUNA.—Lo consignado en el número anterior es suficiente para comprender que el sentido en que se mueve la Luna sobre sí misma es el mismo de su movimiento de traslación alrededor de la Tierra. La duración del movimiento de rotación es también igual a la del movimiento de traslación; esto es, el tiempo que emplea la Luna en dar una vuelta completa sobre su eje es igual al que emplea en verificar una revolución alrededor de la Tierra.

Volvamos de nuevo a la figura 165. El tiempo que ha empleado la Luna en recorrer el arco LL' , es el que ha empleado la mancha en describir el arco $l'l'$; llamando θ al

tiempo que emplee la Luna en recorrer toda su órbita, y θ' al que emplee en su movimiento de rotación, tendremos:

$$\theta : \theta' : : LL' : P'P'$$

ó

$$\theta : \theta' : : LPL' : P'L'P'$$

pero $LPL' = P'L'P'$ por alternos internos; luego $\theta = \theta'$ (1)

Por otra parte, si el movimiento de rotación de la Luna sobre su eje no se realizase en el mismo tiempo que el de su traslación alrededor de la Tierra, es evidente que la diferencia entre ambos movimientos se haría sensible con el transcurso del tiempo, llegando un momento en que se vería parte del hemisferio opuesto. Ahora bién, el exámen de los datos que los antiguos Astrónomos nos han dejado acerca de sus conocimientos sobre la Luna indica que no conocieron más que el hemisferio que nosotros conocemos: por lo tanto, la duración de la rotación de la Luna es igual á la de su revolución alrededor de la Tierra.

C.—*Movimientos de balanceo ó libración.*

282. BALANCEO Ó LIBRACIÓN DE LA LUNA: SUS ESPECIES.

—En virtud de ciertos movimientos oscilatorios que la Luna experimenta, nuestro satélite nos presenta una parte, aunque exigua, del hemisferio opuesto. Estos movimientos se llaman de *balanceo ó libración*. Sus especies son: *libración en longitud, libración en latitud y libración diurna*.

283. LIBRACIÓN EN LONGITUD.—Llaman los Astrónomos *libración en longitud* al movimiento de balanceo de la Luna

(1) Hemos supuesto rigurosamente uniforme el movimiento de traslación, para hacer la deducción general. Las variaciones que dicho movimiento experimenta no son suficientes para que se rechaze la argumentación, puesto que si unas veces aumenta, otras disminuye, compensándose así sus efectos.

que nos permite divisar algo del hemisferio opuesto á la Tierra en las inmediaciones de los bordes oriental y occidental del disco lunar. Procede este movimiento de que la rotación de la Luna sobre su eje y su traslación alrededor de la Tierra, aunque se realizan en el mismo tiempo, no marchan perfectamente acordes en cada uno de los momentos que comprende una lunación. En efecto; el movimiento de rotación es rigurosamente uniforme, más no lo es el de traslación, puesto que, estando la Luna unas veces más próxima á la Tierra y otras más distante, es claro que su movimiento será más rápido en el primer caso, ó sea en el perigeo, que en el segundo, ó sea en el apogeo. Se comprende, pues, con facilidad que se vea una porción del hemisferio opuesto, unas veces por el borde oriental y otras por el occidental del disco, cuando el movimiento de rotación sea superior al de traslación, y que desaparezca esta región visible, cuando el de traslación supere al de rotación. El valor máximo de esta libración es de $7^{\circ} 53' 51''$.

284. LIBRACIÓN EN LATITUD.—El movimiento de balanceo que nos permite divisar algo del hemisferio opuesto á la Tierra en las proximidades de los polos lunares se llama *libración en latitud*: una campana que oscila suavemente sobre sus brazos puede dar una idea de este movimiento. Concurren á producir la libración en latitud la atracción solar, la inclinación del eje de rotación de la Luna sobre el plano de su órbita, y la inclinación de la órbita sobre la eclíptica. En virtud de estas causas el observador terrestre puede contemplar dos zonas alrededor de los polos de la Luna, que se presentan y ocultan sucesivamente. El valor máximo de una de estas zonas puede ser de $6^{\circ} 5' 45''$.

285. LIBRACIÓN DIURNA.—En virtud de las posiciones relativas que ocupan la Luna y un observador situado en un punto de la Tierra, mientras aquella recorre su trayectoria diurna sobre el horizonte de este punto, y también cuando el observador cambia de posición sobre la Tierra, dicho

observador divisa algo del hemisferio opuesto: este fenómeno se llama *libración diurna*: la parte que deja ver del hemisferio opuesto de la Luna no pasa nunca de $1^{\circ} 1' 24''$.

El resultado total de los movimientos de libración de la Luna es que el observador situado en la Tierra vea 0,59 de la superficie total de la Luna.

§ III.—*Variaciones que experimentan algunos elementos de la órbita lunar.*

286. RETROGRADACIÓN DE LOS NODOS DE LA LUNA.—Los nodos de la órbita lunar no conservan constantemente la misma posición en dicha órbita; antes bien, están animados de un movimiento en sentido *retrógrado*, análogo al de la precesión de los equinoccios de la órbita terrestre (núm. 228). El movimiento de retrogradación de los nodos de la Luna es mucho más rápido que el de precesión de los equinoccios, pues si estos retrogradan con una velocidad de $50''$, 2 por año, aquellos lo verifican con la de $3' 10''$, 64 por día. Así es que dichos nodos recorren toda la eclíptica en 6.793^d , 39, ó sea en 18 años y $\frac{2}{3}$ próximamente. La figura 166 dá la idea de este movimiento: EE representa la eclíptica y LL la órbita lunar.

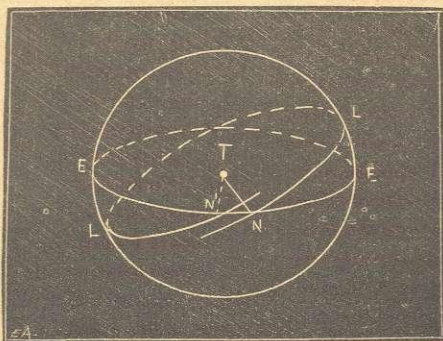


FIG. 166.—RETROGRADACIÓN DE LOS NODOS DE LA LUNA

recorren toda la eclíptica en 6.793^d , 39, ó sea en 18 años y $\frac{2}{3}$ próximamente. La figura 166 dá la idea de este movimiento: EE representa la eclíptica y LL la órbita lunar.

287. CAMBIO DE POSICIÓN DEL PERIGEIO.—Tampoco tiene una posición fija en el espacio la línea de los ápsides de la órbita lunar; antes por la inversa, cambia constantemente de posición, puesto que el perigeo está animado, análogamente al perihelio de la eclíptica (núm. 231), de un movi-

miento *directo*, cuyo periodo es de 3.232^d , 57, ó sea un poco menos de 9 años.

§ IV.—*Diversas revoluciones lunares.*

288. CONCEPTO GENÉRICO DE LA REVOLUCIÓN LUNAR: SUS CLASES.—Se llama en general *revolución lunar* el tiempo que emplea la Luna en recorrer su órbita alrededor de la Tierra. Por lo que hemos dicho en los números anteriores se entiende bien que la elipse descrita por la Luna alrededor de la Tierra no es fija, puesto que la retrogradación de los nodos indica que el plano de esta elipse se mueve alrededor del eje de la eclíptica, y el cambio de posición del perigeo prueba que la línea de los ápsides se mueve directamente. Estos mismos movimientos hacen, como hemos ya dicho, que las coordenadas eclípticas y ecuatoriales de la Luna varíen constantemente. Se puede por consiguiente considerar la revolución de la Luna, relacionándola con distintos puntos de la esfera celeste; estas revoluciones son: *trópica*, *sidérea*, *sinódica*, *anomalística* y *draconítica*.

289. CONCEPTO Y DURACIÓN DE LA REVOLUCIÓN TRÓPICA.—Se llama *revolución trópica* el tiempo que emplea la Luna en volver á la misma longitud, teniendo en cuenta la precesión de los equinoccios. Su duración es de 27^d 7^h 43^m 4^s , 7.

290. CONCEPTO Y DURACIÓN DE LA REVOLUCIÓN SIDÉREA.—Se llama *revolución sidérea* el tiempo que emplea la Luna en volver á la misma longitud, supuesto fijo el punto vernal, ó el tiempo que emplea la Luna en volver á la misma estrella de la esfera celeste. Su duración es de 27^d 7^h 43^m 11^s , 5.

Su exceso sobre la revolución trópica está dado por la precesión de los equinoccios.

291. CONCEPTO Y DURACIÓN DE LA REVOLUCIÓN SINÓDICA.—Se llama *revolución sinódica* el tiempo que transcurre

entre dos *novilunios* consecutivos. Se le llama también *lunación y mes lunar*. Su duración es de $29^d 12^h 44^m 2^s, 9$.

Se comprenderá por qué esta revolución es la de mayor duración, si se tiene en cuenta: 1.º, que los novilunios se verifican cuando la Luna está en conjunción con el Sol; 2.º que la Tierra está constantemente en movimiento, y por consiguiente que cuando la Luna vuelve al mismo punto en que tuvo lugar una conjunción, la Tierra no está ya en la misma posición, necesitando aquella el exceso de tiempo marcado, para ponerse de nuevo en conjunción.

292. CONCEPTO Y DURACIÓN DE LA REVOLUCIÓN ANOMALÍSTICA.—Se llama *revolución anomalística* el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de la Luna por su perigeo. Su duración es de $27^d 13^h 18^m 37^s, 4$. Se comprenderá por qué es mayor que la trópica y la sidérea, si se recuerda el movimiento directo del perigeo.

293. CONCEPTO Y DURACIÓN DE LA REVOLUCIÓN DRACONÍTICA.—Se llama *revolución draconítica* el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de la Luna por su nodo ascendente. Su duración es de $27^d 5^h 5^m 36^s$. Se comprenderá por qué es más corta que las demás, si se recuerda la retrogradación de los nodos.

ARTÍCULO III.

FIGURA DE LA LUNA: SU DISTANCIA Á LA TIERRA.

294. FORMA DE LA LUNA.—Parece á primera vista que la forma de la Luna debe ser la de una esfera perfecta, pues medidos en todas direcciones sus diámetros aparentes son siempre iguales entre sí. Sin embargo, si se tiene en cuenta que la Luna presenta constantemente el mismo hemisferio al habitante de la Tierra, se comprende que la deducción anterior no es rigurosamente exacta, pudiendo suceder muy bien que nuestro satélite sea más alargado en la dirección

de la línea que une el centro de su hemisferio visible desde la Tierra con el del invisible ú opuesto.

Así es en efecto como consideran los Astrónomos á la Luna; esto es, admiten que la forma de nuestro satélite es la de un esferóide cuyo eje mayor está dirigido constantemente hácia la Tierra. No faltan tampoco quienes afirmen que la forma de la Luna es la de un elipsoide de tres ejes desiguales, de los cuales el mayor está en el ecuador lunar y se dirige siempre hácia la Tierra y el menor es el eje de rotación (1). Sea de esto lo que quiera, es lo cierto que la forma de nuestro satélite es tan semejante á la de una esfera, que en todos los casos puede considerarse sin error sensible como una esfera perfecta.

295. PARALAGE DE LA LUNA: MÉTODO GENERAL DE DETERMINAR SU VALOR.—Al hablar (núm. 165) de los procedimientos empleados por los Astrónomos, para determinar la paralage del Sol, no indicamos uno general, por no emplearse para aquella determinación á causa de los errores, que pueden cometerse al emplearlo cuando del Sol se trata. La exposición de este procedimiento general tiene aquí su lugar oportuno, por ser el que generalmente se adopta, cuando se quiere determinar la paralage de la Luna, ó de alguno de los planetas. Indiquemos ligeramente, según nuestro plan, en lo que consiste esencialmente.

Sea T (*Fig. 167*) el centro de la Tierra y L la Luna: P y P' son dos puntos situados P en el hemisferio boreal, P' en el austral, y ambos sobre un mismo meridiano: PZ es la vertical del punto P y P'Z' la del P'. Por último TL es la línea que une el centro de la Tierra con el de la Luna, y TE la intersección del ecuador terrestre con el plano meridiano

(1) Il faut encore ajouter que la lune n' est pas rigoureusement sphérique: sa forme est celle d' un ellipsoïde à trois axes inégaux; le plus grand de ces axes est dans l'èquateur lunaire et toujours dirigé vers la terre; le plus petit est l'axe de rotation.—Tisserand y Andoyer, *Leçons de Cosmographie*. pág. 140.

PEP'. Es evidente: 1.º, que los ángulos LPZ y LP'Z' son las distancias zenitales de la Luna en los puntos P y P'; 2.º que los ángulos PLT y P'LT son las paralages de altura de la Lu-

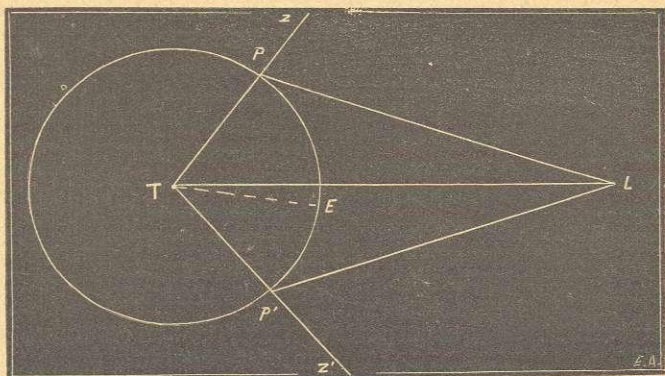


FIG. 167.—MEDICIÓN DE LA PARALAGE DE LA LUNA.

na en los mismos puntos, y 3.º, que el ángulo PTP' es la suma de las latitudes de los mismos puntos. Llamemos para más claridad δ á LPZ, δ' á LP'Z', π á PLT, π' á P'LT, λ á PTE y λ' á P'TE.

Esto supuesto, en el cuadrilátero PTP'L el ángulo TPL = $180^\circ - \delta$ y el TP'L = $180^\circ - \delta'$. Sabemos además por la Geometría que los cuatro ángulos de un cuadrilátero valen 360° . Por lo tanto,

$$(\lambda + \lambda') + (\pi + \pi') + (180^\circ - \delta) + (180^\circ - \delta') = 360^\circ$$

de donde

$$(\lambda + \lambda') + (\pi + \pi') = 360^\circ - (180^\circ - \delta) - (180^\circ - \delta')$$

y también

$$(\lambda + \lambda') + (\pi + \pi') = \delta + \delta'$$

y por último

$$\pi + \pi' = \delta + \delta' - (\lambda + \lambda'). \quad (\alpha)$$

Observando ahora que $\text{sen. } \pi = \frac{\rho}{\delta} \cos. \text{LoL'}$ (núm. 65),

y que LoL' no es sino la altura del astro sobre el horizonte, llamando α á esta altura, y aplicando la fórmula al caso presente, tendremos

$$\text{Sen. } \pi = \frac{\rho}{\delta} \cos. \alpha$$

y

$$\text{Sen. } \pi' = \frac{\rho}{\delta} \cos. \alpha'$$

Sumando ordenadamente ambas igualdades

$$\text{Sen. } \pi + \text{sen. } \pi' = \left(\frac{\rho}{\delta} \cos. \alpha \right) + \left(\frac{\rho}{\delta} \cos. \alpha' \right)$$

Más, como sen. π y sen. π' son muy pequeños

$$\pi + \pi' = \frac{\rho}{\delta} (\cos \alpha + \cos. \alpha') \quad (\beta)$$

Igualando los valores de $\pi + \pi'$, expresados en las fórmulas (α) y (β), tendremos

$$\delta + \delta' - (\lambda + \lambda') = \frac{\rho}{\delta} (\cos. \alpha + \cos. \alpha')$$

de donde

$$\frac{\rho}{\delta} = \frac{\delta + \delta' - (\lambda + \lambda')}{\cos. \alpha + \cos. \alpha'} \quad (\gamma)$$

Sabemos además que la paralage horizontal es igual á $\frac{\rho}{\delta}$ (núm. 163); llamando P á esta paralage y substituyendo en la fórmula (γ), será

$$P = \frac{\delta + \delta' - (\lambda + \lambda')}{\cos. \alpha + \cos. \alpha'} \quad (\delta)$$

fórmula que nos dá el valor de la paralage lunar en función de cantidades conocidas; á saber, las distancias zenitales

de la Luna en el momento de la observación, las latitudes de los dos puntos escogidos de la Tierra, y las alturas de la Luna, complementos de las distancias zenitales observadas.

Este procedimiento, indicado por Herschel, fué llevado á la práctica por dos ilustres Astrónomos, Lacaille y Lalande. El primero se situó en el Cabo de Buena Esperanza y el segundo en Berlín. Aunque estos dos puntos no se encuentran en el mismo meridiano, están sin embargo muy próximos, y los mencionados Astrónomos tuvieron en cuenta este dato, así como también la refracción astronómica y la forma esferoidal de la Tierra. De sus observaciones se ha deducido que la *paralage horizontal ecuatorial media* de la Luna, esto es, la que corresponde á la *distancia media* de la Luna á la Tierra vale $57' 2''$,2.

296. DISTANCIA DE LA LUNA Á LA TIERRA: SU VALOR MEDIO.—Siendo la órbita de la Luna una elipse de la cual ocupa la Tierra uno de los focos, es claro que la distancia de la Luna á la Tierra, varía constantemente, obteniendo su valor máximo en el apogeo y el mínimo en el perigeo. Su valor medio, ó sea la distancia media de la Luna á la Tierra, se obtiene con gran facilidad, empleando la fórmula (α) del número 163, puesto que por el número anterior conocemos el valor de la paralage lunar media. Esta fórmula aplicada al caso presente se convierte en

$$\delta = \frac{206.264,80}{3.422'',2}$$

de donde

$$\delta = 60,27$$

Luego la distancia media de la Luna á la Tierra es de 60,27 radios terrestres ecuatoriales, ó sea de 384'446.000 metros, ó 384.446 kilómetros, ó 96.111,5 leguas de 4 kilómetros.

La distancia de la Luna á la Tierra puede también

obtenerse, partiendo del cuadrilátero PTP'L (Fig. 167) del modo siguiente. En dicho cuadrilátero se conocen los ángulos LPT, PTP' y LP'T; siendo también conocidos los lados TP y TP', por ser radios de la Tierra. Puede, pues, construirse un cuadrilátero semejante *lptp'* (Figura 168), tomando arbitrariamente la longitud de los lados *tp* y *tp'*. Hecho esto, no queda más que ver el número de veces que *lt* contiene á *tp*, para obtener la distancia de la Luna á la Tierra, expresada en radios terrestres.

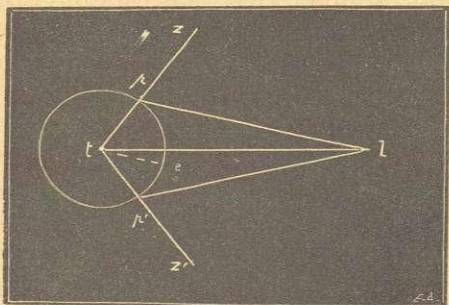


FIG.. 168.— DISTANCIA DE LA LUNA Á LA TIERRA.

Por lo demás, el *Almanaque Náutico* dá para cada día del año á 0^h y á 12^h el valor de la paralage horizontal y del semidiámetro aparente de la Luna. Es por lo tanto sumamente facil por la fórmula arriba expuesta obtener la distancia de la Luna á la Tierra en un día dado cualquiera.

ARTÍCULO IV.

DIMENSIONES DE LA LUNA.

297. DIÁMETRO LUNAR.—Aplicando el cálculo empleado para determinar el valor del diámetro del Sol (núm. 166), se obtiene para el de la Luna, al cual llamaremos δ' ,

$$\delta' : \delta :: 31' 8'', 18 : 114' 4'', 4$$

de donde

$$\delta' = \frac{(31' 8'', 18) \times \delta}{114' 4'', 4} = \frac{1.868'', 18 \times \delta}{6.844'', 4}$$

y tomando á δ como unidad,

$$\delta' = \frac{1.868'', 18}{6.844'', 4} = 0, 27 295$$

Luego, el diámetro lunar equivale á 0,27 295 del diámetro de la Tierra. Su valor expresado en kilómetros es de 3.482, 06. No hay necesidad de decir que el radio lunar equivale á 0,27 295 del radio ecuatorial de la Tierra.

298. SUPERFICIE Y VOLUMEN DE LA LUNA.—Siendo el radio de la Luna 0'27 295 del radio de la Tierra, su superficie y su volumen serán respectivamente $0'27\ 295^2$ y $0'27\ 295^3$ de la superficie y del volumen de la Tierra, si suponemos que ambos astros son esferas perfectas (núm. 167).

Así se obtiene que la superficie de la Luna es 0'0745055 de la superficie de la Tierra y el volumen 0'0203368 del de la Tierra. En números redondos la superficie de nuestro satélite es de 38'090.000 kilómetros cuadrados y el volumen 22.105'740.000 kilómetros cúbicos.

299. MASA Y DENSIDAD DE LA LUNA.—Por la razón aducida en el núm. 168 no hacemos más que consignar que la masa de la Luna equivale á 0'0125522 de la masa de la Tierra. La densidad de nuestro satélite, que puede obtenerse por la proporción indicada en el citado número 168 es 0'615, tomando como unidad la de la Tierra, y 3'38 tomando la del agua.

300. VALOR DE LA ATRACCIÓN EN LA SUPERFICIE DE LA LUNA.—Tomando por unidad la que ejerce la Tierra sobre los cuerpos situados en su superficie, la que ejerce la Luna sobre los cuerpos situados en la suya equivale á 0'16 85.

301. RESUMEN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS.—Con el objeto de que se perciban con gran facilidad los diversos elementos expuestos, pertenecientes á nuestro satélite, los sintetizamos en el cuadro siguiente:

Principales elementos de la Luna.

Distancia media á la Tierra.	{	En segundos: paralage horizontal	
		ecuatorial media.	57' 2", 2
		En radios terrestres ecuatoriales	60, 27
		En kilómetros	384.446
Diámetro aparente	{	A la distancia media	31' 8", 18
Diámetro real	{	Unidad: el de la Tierra	0, 27 295
		En kilómetros	3. 482, 06
Superficie	{	Unidad: la de la Tierra	0, 0745 055
		En millones de kilómetros cuadrados	38', 090
Volumen	{	Unidad: el de la Tierra	0,020 3368
		En millones de kilómetros cúbicos.	22.105', 74
Masa	{	Unidad: la de la Tierra	0, 0125 522
Densidad	{	Unidad: la de la Tierra	0, 615
		Unidad: la del agua	3, 38
Valor de la atracción	{	En la superficie: unidad el de la Tierra	0, 16 85
Epoca: 0 Enero de 1850	{	Longitud del nodo ascendente.	146° 13' 40"
		» del perigeo	99° 51' 52", 1
		» media de la época	122° 59' 55"
		Excentricidad de la órbita	0, 0549
		Inclinación de la órbita sobre la eclíptica	5° 8' 47", 9
Duración de las Revoluciones	{	Sidérea.	27d 7h 43m 11s, 5
		Sinódica	29d 12h 44m 2s, 9
		Trópica.	27d 7h 43m 4s, 7
		Anomalística.	27d 13h 18m 37s, 4
		Draconítica	27d 6h 5m 36s
Rotación	{	Igual á la revolución sidérea	27d 7h 43m 11 s, 5

ARTÍCULO V.

CONSTITUCIÓN DE LA LUNA.

302. IDEA GENERAL DE LA CONSTITUCIÓN FÍSICA DE LA LUNA.—Las observaciones que los Astrónomos modernos han realizado, valiéndose de los más poderosos instrumentos, nos permiten afirmar que la Luna es un cuerpo opaco, que recibe y refleja la luz del Sol, que su superficie presenta irregularidades muy pronunciadas, que carece de atmósfera, al menos apreciable, y en general que “su constitución es eminentemente volcánica,” (1). Siguiendo nuestro plan solamente daremos algunas nociones generales acerca de este punto, remitiendo á nuestros alumnos y lectores á los tratados especiales publicados sobre nuestro satélite.

303. ACCIDENTES DE LA SUPERFICIE LUNAR: SU CLASIFICACIÓN.—El aspecto que presenta la Luna vista con los anteojos y telescopios (núm. 265) y la persistencia de las formas y dimensiones de las manchas lunares (núm. 280), indican suficientemente que la superficie de nuestro satélite es tan accidentada como la de nuestro globo. Estos accidentes de la superficie lunar pueden clasificarse en cuatro grupos: *mares, montañas, cráteres y surcos ó hendiduras.*

304. MARES LUNARES: SU VERDADERA NATURALEZA.—Al hablar de *mares* en la Luna, no debe entenderse que se quiere significar una gran extensión de agua, que es á lo que llamamos *mares* en la Tierra. Los *mares lunares* no son otra cosa que grandes extensiones de la superficie lunar generalmente llanas y más ó menos profundas. Estas llanuras son las que se perciben, aún á la simple vista, como manchas parduzcas en la región boreal y más ó menos blancas en la austral del disco de nuestro satélite.

(1) P. Cappa. *Tratado de Cosmografía*, pág. 70.

Cuando aún no estaba determinada la constitución de la Luna, fueron llamadas las mencionadas llanuras *mares* por Hevelio, conservándose esta denominación á pesar de su impropiedad, por no introducir nuevos nombres, que podrían engendrar confusión en la ciencia. Siguiendo la misma analogía se aplican también las palabras, *golfo*, *bahía* etc. á otras llanuras menores, cuya forma es análoga á la de los *golfos*, *bahías*, etc. de la Tierra. El cuadro siguiente dá á conocer las principales llanuras lunares con sus nombres español y latino y las coordenadas lunares del centro de figura de cada una (1).

Grandes manchas grises llamadas mares.			
Nombre español	Nombre latino	Longitud	Latitud
Mar Austral	Mare Australe	80° O	50° S
› de los Humores	› Humorum	40 E	20 S
› de Néctar	› Nectaris	35 O	15 S
› de las Nubes	› Nubium	20 E	15 S
› de la Fecundidad	› Fecunditatis	50 O	3 S
› de la Tranquilidad	› Tranquillitatis	25 O	5 N
› de los Vapores	› Vaporum	5 O	14 N
Golfo del Fuego	Golfo Æstuum	13 E	12 N
› de los Iris	› Iridum	35 E	45 N
Oceano de las Tempestades	Oceanus Procellarum	45 E	10 N

305. MONTAÑAS LUNARES: SUS ASPECTOS.—Los montes de la Luna ofrecen muy diferentes aspectos. Hay unos formados por grandes masas, que se extienden sobre la superficie lunar y cuyas cumbres, aparte de algunos picos más elevados, miden por regla general unos 2.000 metros de altura. Otros, aunque pocos, se presentan aislados, los cuales proyectan fantásticamente sus sombras sobre las llanuras donde se levantan. Obsérvanse otros reunidos, formando grupos sin ór-

(1) Estos datos están tomados de *El Telescopio Moderno* por don Augusto T. Arcimis. tom. 1.º, pág. 297.

den alguno entre sí y por último, se ven en nuestro satélite grandes y dilatadas cordilleras de montañas, cuya altura es tan considerable que los Sres. Beer y Maedler mencionan en sus mapas selenográficos unas 22 montañas cuya altura es



FIG. 169.—PAISAJE LUNAR.

superior á la del Monte Blanco en Suiza (4.815 metros). La figura 169 representa un paisaje lunar.

La altura de estas montañas ha sido determinada por medidas micrométricas: esto es, observando y midiendo con un micrómetro en las cuadraturas las sombras que dichas montañas proyectan. Entre los diversos métodos empleados para darles nombre ha adquirido carta de naturaleza en la ciencia el adoptado por el P. Riccioli de la Compañía de Jesus, que consiste sencillamente en llamarlas con los nombres de Astrónomos, Matemáticos, Físicos y otros sabios de mayor ó menor celebridad en la historia de los conocimientos humanos.

Son dignos de una mención especial *los montes Leibnitz*, que se extienden desde el paralelo de 65° latitud S. hasta el

polo y cuya cima más elevada mide 8.230 metros; *los montes Doerfel*, desde los 84° latitud S. hasta el polo y cuya altura superior es de 7.603 metros; *los de Alembert* hacia el borde O. entre los paralelos de 4° y 10° lat. S. y cuya altura es de 6.100 metros; *la cordillera del Cáucaso*, que es una región comprendida entre los paralelos de 32° y 41° lat. N. y los meridianos de 7° y 15° long. O., y cuya cumbre más elevada es de 5.567 metros, y *la de los Apeninos*, cuyos límites son los paralelos de 14° y 27° lat. N. y los meridianos de 10° longitud O. y 11° long. E. midiendo su mayor altura 5.500 metros.

La altura de algunos picos de los más elevados las dá el siguiente cuadro: esta altura ha sido determinada últimamente por Neison (1).

Nombres	Alturas	Longitud	Latitud
Newton	7.250 met.	16° E.	77° S.
Casati	6.800 "	35 E.	74 S.
Curcio	6.760 "	3 O.	67 S.
Teófilo	5.560 "	26 O.	11 S.
Clavio	5.270 "	15 E.	58 S.
Tycho-Brahe	5.210 "	12 E.	43 S.
Pitágoras	5.160 "	60 E.	63 N.
Sta. Catalina	5.010 "	23 O.	17 S.

306 CRÁTERES LUNARES: SUS CLASES.—Han dado los astrónomos el nombre de *cráteres lunares* á unas formaciones de la superficie lunar, que presentan el aspecto de un valle, ordinariamente circular y rodeado de una muralla ó baluarte montañoso y escarpado. El centro de estos cráteres se encuentra algunas veces ocupado por conos aislados y otras por un domo ó una meseta. Las dimensiones son muy diversas, oscilando entre 2 y 250 kilómetros el diámetro del circo ó circunvalación, y entre 0 y 8.000 metros la altura de las escarpas.

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes* (Paris 1900).

Atendiendo á sus magnitudes pueden clasificarse los cráteres lunares en dos grandes grupos: *cráteres mayores* y *cráteres menores*.

Los cráteres mayores suelen encontrarse interrumpidos por otros menores y por algunos montes en general de exiguas dimensiones. Hemos de mencionar entre los más notables á *Clavio* con 228 kilómetros de diámetro, á *Hiparco* con 141, á *Platón* con 97, á *Copérnico* con 88 y á *Tycho* con 87. En *Clavio* puede observarse la interrupción producida por otros cráteres menores: entre estos se encuentra *Blancano*, cuyas escarpas se elevan unos 8.000 metros. *Copérnico* y *Tycho* son sin duda alguna en estas formaciones crateriformes dos de los más hermosos ejemplares. Situado *Copérnico* cerca del centro del disco lunar presenta un conjunto tan brillante y espléndido, que admira al observador. Su muralla que mide segun los Astrónomos unos 4.000 metros de altura, sobre el nivel de la meseta circunvala un espacio de 88 kilómetros de diámetro, en el cual y casi en el centro se nota un hermoso grupo de montes cónicos, de los cuales alcanzan algunos más de 8.000 metros de altura. *Tycho* ocupa próximamente el centro del hemisferio austral de nuestro satélite: su baluarte alcanza 5.210 metros de altura y en su interior existe un cono de unos 2.000 metros. Este notabilísimo cráter aparece, sobre todo en los plenilunios, como un potente foco luminoso de donde parten brillantes radiaciones, bandas y estrías luminosas de singular belleza y hermosura, que se extienden por sus alrededores á una distancia superior á 2.000 kilómetros.

Los cráteres menores son tan numerosos que segun Schmidt pasan de 100.000 (1). Encuéntranse principalmente en las regiones polares y se perciben muy bien con un anteojo de mediano poder óptico en los cuartos crecientes y menguantes de nuestro satélite.

307 HENDIDURAS Ó SURCOS.—Distinguen por último los Astrónomos en la superficie lunar unos *surcos* ó *hendiduras*

(1) P. Müller, *Compendio di Astronomia*, lib. 3.º pág. 661.

estrechas, largas y generalmente rectas. Los bordes de estas fisuras son por regla general muy escarpados, y terminan de ordinario en los contornos de los cráteres, aunque algunas veces tambien los atraviesan. Su anchura que no pasa de dos kilómetros permanece sensiblemente constante en toda su longitud, la cual suele alcanzar hasta 100 kilómetros. Las hendiduras de que hacemos mérito en este número aparecen muy brillantes en la Luna llena, ó sea, cuando están heridas directamente por los rayos solares; en las demás fases se presentan negras, á causa de la sombra que proyectan sobre el fondo las escarpas de sus bordes.

308. CARENANCIA DE ATMÓSFERA EN LA LUNA: SUS CONSECUENCIAS.—Háse discutido mucho entre los Astrónomos, si en la Luna hay atmósfera: la opinión dominante en la Ciencia afirma que nuestro Satélite carece de atmósfera, al menos apreciable, aduciéndose para probar esta afirmación las siguientes pruebas.

1.^a—*Ocultación de las estrellas por la Luna.*—Cuando una estrella es ocultada por la Luna, esto es, cuando nuestro satélite en virtud de sus movimientos propios pasa por delante de una estrella, impidiendo que esta sea vista por el habitante de la Tierra, se pueden comprobar los dos siguientes fenómenos: 1.^o, la luz de la estrella no experimenta la más pequeña amortiguación en su brillo, por próxima que esté al borde del disco lunar; antes bien, la ocultación es instantánea; esto es, la estrella deja de verse, sin haber perdido nada del brillo de su luz, en el momento en que entra en el disco lunar: lo mismo sucede al terminar la ocultación; la estrella reaparece instantáneamente con todo su brillo: 2.^o, desde el momento en que la estrella desaparece por el borde del disco lunar, hasta aquel en que reaparece por el borde opuesto, transcurre exactamente el tiempo, que el cálculo, hecho en la hipótesis de la no existencia de la atmósfera lunar, indica que debe transcurrir.

Es claro que los dos hechos aducidos prueban la carencia de atmósfera en nuestro satélite, pues si esta atmósfera existiese: 1.^o, la luz de la estrella se debilitaría gradualmen-

te al entrar en la atmósfera lunar, y gradualmente adquiriría todo su brillo al salir de ella; 2.º, la ocultación duraría menos tiempo del indicado por el cálculo, puesto que los rayos luminosos de la estrella se refractarian en la atmósfera lunar, haciendo esta refracción que la estrella ocultada se viese después de haber entrado en el disco del satélite y antes de salir de él.

Robustecen la argumentación anterior los estudios espectrales modernos. Comprueban estos que, cuando una estrella al ser ocultada entra en el borde lunar, no se nota nada de particular en su espectro; antes bien, la intensidad de los rayos disminuye de un modo uniforme en toda la extensión del campo espectral. Ahora bien; si nuestro satélite tuviese una atmósfera gaseosa apreciable, es evidente que los rayos violado y azul se extinguirían antes que los demás del espectro, á causa de la refracción, que habrían de experimentar.

2.^a *Forma de la línea de separación entre la luz y la sombra en la superficie lunar.*—Cuando se observa con atención la superficie lunar en las distintas fases de nuestro satélite, se nota que la línea de separación entre la luz y la sombra, se presenta erizada de dentellones y mellas, á causa de los accidentes (montes, llanuras, cráteres, etc.) del suelo, pero siempre clara y definida. Indica esta particularidad que en la Luna no hay atmósfera, pues si existiese, se pasaría de la luz vivísima de los rayos solares á la sombra pura por un intermedio de luz difusa, que, apareciendo muy viva en las inmediaciones de los lugares iluminados por el Sol, disminuiría gradualmente hasta llegar á la sombra.

3.^a *Persistencia uniforme de las manchas lunares.*—Es otro hecho perfectamente comprobado (núm. 280) que no se ha notado la más ligera variación ni en el número, ni en la forma de las manchas lunares. Comprueba este hecho la carencia de atmósfera en la superficie lunar, pues, de existir, rodearía la superficie de la Luna en toda su extensión; y es claro que en algunas ocasiones se habría condensado lo bastante, para que apareciesen á nuestra vista las manchas lunares variadas de forma.

Hemos de advertir, por último, que hoy no faltan Astrónomos que defiendan la existencia de una atmósfera lunar, aunque la suponen muy baja y muy enrarecida. Esta afirmación necesita comprobarse, si ha de ser admitida, según opinan otros y muy respetables Astrónomos (1).

(1) La afirmación de que la Luna posee alguna atmósfera la defiende entre otros Pickering: según este astrónomo la densidad de la atmósfera lunar no excede la $\frac{1}{8000}$ parte de la de la Tierra. Como la densidad decrece con más lentitud en la Luna, sucede que á una altura de 70 kilómetros podrán compararse las atmósferas terrestre y lunar explicándose de este modo cierta especie de crepúsculo que se observa algunas veces en la extremidad de los cuernos del cuarto creciente.

Para hacer cargo del estado de esta controversia, léanse las siguientes palabras de algunos Astrónomos que tomamos del Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.

«J'ai observé, (G. Basso en el eclipse total de Luna de 27 de Diciembre de 1898) avec la plus grande attention ayant mis l'oculaire *bien au point*; j'ai pu constater que les étoiles ne disparaissaient pas brusquement derrière la Lune, mais se montraient un instant *sur* le satellite: une petite étoile de 8^e ou 9^e grandeur m'a paru *s'éteindre subitement au moment précis où elle allait toucher le bord de la Lune.*

Il me paraît bien difficile de douter d'une atmosphère, si basse ou raréfiée soit-elle, de notre satellite. Car alors comment expliquer ces *refractions*, ces lignes blanches qui se trouvent juste au sommet des hautes montagnes, sinon par l'existence de l'air et des neiges éternelles.»

«Ce qui nous a tous frappés (R. Gautier, Director del Observatorio de Ginebra en el mismo eclipse) de même que M. Basso qui a de son côté observé plusieurs immersions d'étoiles, c'est que les étoiles ne disparaissaient pas au moment même où elles arrivaient en contact avec le bord de l'image de la lune éclipcée. Ou les apercevait encore très nettement *pendant quelques secondes*, comment si elles avaient pénétré dans le disque lunaire. *C'est le resultat d'un phénomène de diffraction qui provient de l'instrument* et qui augmente le diamètre apparent de la Lune.»

«Dans l'éclipse (A. Loewy, Director del Observatorio de París) qui vient de se produire le 27 decembre dernier, M. Bailland, directeur de l'Observatoire de Toulouse a pu encore distinguer les étoiles sur le disque lunaire pendant 10 secondes après l'immersion... *Cette apparence doit être plutôt attribuée à l'interférence des rayons lumineux dans le champ de l'instrument.*»

Tampoco hay agua en la superficie lunar, pues si la hubiese, los ardientes rayos del Sol que sin interrupción alguna caen durante unos catorce días sobre cualquiera de los puntos de la Luna, producirían una gran evaporación y se verían nubes flotando en el espacio, fenómeno que nunca ha sido observado. Sin embargo, el P. Secchi opina que “en ciertos cráteres inmediatos á las llanuras que llamamos *mares*, se ven signos de corrosiones manifiestas. Estos mares no están llenos de agua líquida, pero tanto por ser bastante oscuros, como por lo que polarizan la luz, podría ser que estuviesen ocupados por hielo,” (1).

La carencia de atmósfera y de agua en nuestro satélite impiden que se realicen en él todos los fenómenos que se observan en la Tierra á causa de su cubierta gaseosa. No pueden, pues, observarse en la Luna los dulces y melancólicos tintes de los crepúsculos, ni nubes que se doren con los hermosos rayos del Sol naciente, ni arco-iris, ni juegos de luz en los paisajes, ni ese azul-celeste que durante el día forma para el habitante de la Tierra el fondo de la bóveda celeste. En cambio, el firmamento, lo mismo de día que de noche se presenta, visto desde la Luna, en toda su majestuosa grandeza: las constelaciones brillan en todo su esplendor; los planetas resplandecen con su hermosa luz; la Tierra se presenta catorce veces mayor, que nosotros vemos la Luna, y el Sol irradia torrentes de luz y oro sobre aquellos montes y valles solitarios ¡qué espectáculo tan grandioso y sublime al par que triste y desconsolador!

(1) *El Sol*, Tom. 2.º, pág. 424.

CAPÍTULO IV

AMPLIACION Y COMPLEMENTO AL ESTUDIO SOBRE EL SOL, LA TIERRA Y LA LUNA.

Hemos estudiado, aunque ligeramente, el Sol, la Tierra y la Luna, que por las razones expuestas en otro lugar son los astros, cuyo conocimiento más nos interesa. Más para que su estudio no resulte incompleto, damos en este capítulo algunas nociones sobre otros problemas y fenómenos que con dichos astros se relacionan.

ARTÍCULO I.

NUEVAS RELACIONES ENTRE EL SOL, LA TIERRA Y LA LUNA.

309. ESCALA EN QUE ESTÁN EL SOL, LA TIERRA Y LA LUNA.—Hemos expuesto en lugar oportuno las dimensiones del Sol, de la Tierra y de la Luna, así como también las distancias que separan estos astros en el espacio: si ahora se quieren tener siempre presentes las proporciones en que se encuentran, será muy conveniente hacerse cargo del ejemplo práctico siguiente.

Supóngase que se tiene una bolita ordinaria de marmol, madera, etc., de un centímetro de radio, y que esta bolita representa la Tierra. En la misma proporción la Luna esta-

rá representada por otra bolita de cinco milímetros y medio de diámetro, girando alrededor de la anterior á una distancia de 60 centímetros. Conservando esta escala, el Sol habría de representarse por un globo, cuyo diámetro sería de dos metros y 18 centímetros, y á su alrededor circularía la Tierra, esto es, la primera bolita, á una distancia superior á 225 metros.

310. FORMA EXACTA DE LA ÓRBITA LUNAR.—Cuando hemos estudiado la forma de la órbita de la Luna (núm. 275), solo hemos tenido presente la existencia de la Tierra. Claro está que si no existiesen mas astros que la Tierra y la Luna, la órbita de esta alrededor de aquella sería una elipse perfecta é invariable: sería este el problema de *los dos cuerpos*. Pero no es así como sucede en la Creación: ni están solos los dos astros citados, ni la Tierra está inmóvil; antes por la inversa, existen, como sabemos, infinidad de astros, y además la Tierra gira alrededor del Sol, llevando consigo la Luna, al través de los espacios, lo que constituye el problema de *los tres cuerpos*: Sol, Tierra, Luna.

Considerando los dos movimientos simultáneos; el de la Tierra y el de la Luna, se obtiene para la órbita de esta última una curva de forma sinuosa, análoga á la representada en la figura 146 (núm. 229). La figura 170 representa una

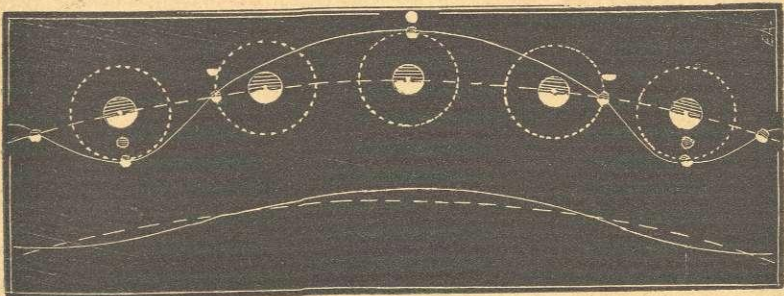


FIG. 170. — FORMA DE LA ÓRBITA DE LA LUNA.

parte de esta curva: la referente á una *lunación*. Hemos de advertir con sumo cuidado respecto de esta curva; 1.º, que

vista desde el Sol no es *cóncava* y *convexa*, como á primera vista pudiera parecer, sino que es *siempre cóncava*, sin que tenga puntos de inflexión, ni puntos dobles; 2.º, que no es plana, puesto que su posición é inclinación respecto del plano de la eclíptica varía constantemente.

311. INFLUENCIAS DE LA LUNA SOBRE LA TIERRA.—Ya que no nos podamos detener en el estudio de todas las influencias que la Luna ejerce sobre nuestro globo, hemos siquiera de enumerar algunas. La Luna produce con su atracción sobre los mares terrestres el fenómeno de las mareas (núm. 252), facilitando, mediante estas, la entrada y salida de las naves en los puertos; nos ilumina durante la noche, compensando en parte la pérdida de la luz solar; sirve de índice en el grandioso y magnífico reloj del Universo; guía al navegante en las soledades del Oceano, y nos permite asistir á espectáculos tan admirables, como los eclipses y ocultaciones de estrellas y planetas.

312. INFLUENCIAS DE LA TIERRA SOBRE LA LUNA: LUZ CENICIENTA.—Es indudable que así como la Luna influye sobre la Tierra, así también la Tierra influye sobre la Luna. Sabemos ya que la atracción terrestre es la que mantiene la Luna en su órbita alrededor de la Tierra, y según los Astrónomos esta misma atracción hizo en tiempos remotísimos (cuando la Luna era un cuerpo gaseoso) que la materia lunar se alargase hácia la Tierra, tomando la forma que en nuestros tiempos conserva.

Hoy, dado el estado en que la Luna se encuentra, bien puede decirse, que aparte de la atracción, la única influencia, ó al menos la principal, de la Tierra sobre la Luna es enviarle una gran parte de la luz que recibe del Sol después de reflejarla en su superficie. Tenemos una prueba de esta afirmación en la *luz cenicienta*.

Llaman así los Astrónomos á una luz débil, apagada y como fosforescente, que se observa en nuestro satélite algunos días antes y después del novilunio, y que en el tercero

adquiere su mayor viveza, según las observaciones de Schroeter. Este fenómeno, cuya causa permaneció desconocida durante mucho tiempo, se explica hoy sencilla y satisfactoriamente.

En efecto; la Tierra es un cuerpo opaco, y como tal, al ser iluminado por los rayos solares, refleja hácia el espacio una parte de la luz recibida; y á la manera que nosotros recibimos la luz del Sol, reflejada en la Luna, así se recibe en la Luna la luz del Sol, reflejada en la Tierra. Esto supuesto, se comprende con facilidad que la Tierra vista desde la Luna presentará las mismas fases que la Luna vista desde la Tierra, aunque invertidas; siendo, por ej., *Tierra nueva* para la Luna, cuando para la Tierra es *Luna llena*, y recíprocamente *Tierra llena*, cuando *Luna nueva*.

Así se explica que en las proximidades de la *Luna nueva*, esto es, cuando la *Tierra es llena*, se vea débilmente iluminada la parte del hemisferio lunar visible desde la Tierra, que debería estar y estaría en la oscuridad, si nuestro globo no enviase allá una parte de la luz recibida del Sol, después de reflejarla en su superficie. Para hacerse cargo por completo de este punto, nótese que la luz reflejada por nuestro globo hácia la Luna, la refleja nuevamente la Luna hácia la Tierra, y esta luz que hiere nuestra pupila después de haber sufrido dos reflexiones, una en la Tierra y otra en la Luna, es la *luz cenicienta*.

313 INFLUENCIAS DEL SOL SOBRE LA LUNA: DIAS Y NOCHES EN LA LUNA: ESTACIONES.—Estudiadas anteriormente las influencias que el Sol ejerce sobre la Tierra, digamos dos palabras siquiera sobre las que ejerce sobre la Luna, las cuales no son sustancial, sino accidentalmente distintas de aquellas, á causa de la diferencia de estado en que ambos astros se encuentran.

Esto supuesto, el Sol irradia sobre la Luna, como sobre la Tierra, luz y calor. El *día solar* en la Luna, ó sea el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano de un punto lunar, dura lo mismo que *una lunación*, ó sea, $29^{\text{d}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 2^{\text{s}}$, 9 de los nuestros, á causa de que

en una lunación nuestro satélite no efectúa más que una rotación: lo mismo sucede para las noches. También hay diferencia en la duración relativa de los días y las noches comunes para los distintos puntos de la superficie lunar, por las causas ya explicadas para la Tierra; esta duración es constante para el ecuador lunar; su valor es de unos $14\frac{1}{2}$ días de los nuestros.

La variedad de estaciones que observamos en la Tierra no debe darse en la Luna, al menos tan marcada. En efecto; débese esta variedad en nuestro globo á la oblicuidad del eje de rotación con el plano de la eclíptica (núm. 238 y sig.), y el eje de rotación lunar sobre dicho plano es casi perpendicular, por lo cual el Sol se encuentra constantemente ó en el plano del ecuador lunar ó muy próximo á él.

Por último, no están concordes los Astrónomos en que el calor solar y el frío subsiguiente á la ausencia de los rayos solares, produzcan disgregaciones en las materias que constituyen las rocas lunares, pero si esto sucede, es lo cierto que, no existiendo atmósfera, los trozos de roca rodarán por las vertientes hasta el fondo de los cráteres ó de las llanuras lunares, sin que se produzca el más pequeño ruido, ni la más pequeña corriente de aire, y dejando, como única señal del trastorno realizado, el cambio de forma en el aspecto exterior y la vibración interna de las moléculas que constituyen su masa.

ARTÍCULO II.

CALENDARIOS Ó ALMANAQUES.

314. CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE LOS CALENDARIOS.— Se dá en general el nombre de *calendario* ó *almanaque* á un libro, cuadro ó estado en que se indica la distribución y sucesión de los días para las necesidades de la Sociedad en un espacio de tiempo llamado *año civil* ó *común*.

Esta distribución es conveniente y hasta necesaria, si se quiere recordar con exactitud á los hombres la vuelta de

las mismas festividades religiosas ó civiles y de los mismos trabajos agrícolas, y si se desea conservar con fidelidad la fecha de los acontecimientos históricos. No en otra fuente, sino en la ignorancia de los hombres sobre los calendarios usados en los distintos pueblos, es donde hay que buscar el atraso en que ha permanecido la Cronología, al menos en todo lo que se refiere á los pueblos antiguos.

No se necesitan grandes esfuerzos de inteligencia para comprender que la duración del año civil en que se distribuye el tiempo en los Calendarios ha de aproximarse, cuanto sea posible, á la duración del año trópico (núm. 235).

El año trópico, en efecto, comprende las cuatro estaciones (núm. 238), y estas influyen poderosa y distintamente, así en el reino animal, como en el vegetal. Sin embargo, sólo á fuerza de largos años de existencia y de prolijos y perseverantes trabajos por la especie humana, se ha podido llegar á este resultado, existiendo todavía muchos pueblos que no disfrutaban de estas ventajas.

Esto supuesto, los Calendarios pueden clasificarse desde dos puntos de vista: 1.º, atendiendo á los fenómenos astronómicos en que se fundan; 2.º, atendiendo á los usos para que se destinan.

§ I.— *Clasificación y estudio de los Calendarios por su fundamento astronómico.*

315. CLASIFICACIÓN DE LOS CALENDARIOS POR SU FUNDAMENTO ASTRONÓMICO.—Atendiendo á su fundamento astronómico, los Calendarios se llaman *vagos*, si no se fundan en ningún fenómeno celeste; *lunares*, si en los movimientos de la Luna; *luni-solares*, si en los movimientos de la Luna y del Sol combinados, y *solares*, si sólo en los del Sol.

316. CONCEPTO DE LOS CALENDARIOS VAGOS: PUEBLOS EN DONDE ESTUVIERON EN USO.—Se llaman *Calendarios vagos* los que no se fundan en ningún fenómeno celeste: la forma del año se regulariza en ellos, componiéndolo de un número de-

terminado de días, que siempre es el mismo. Es claro que, dada la duración del año trópico, ($365^d 5^h 48^m 46^s 0$), esta clase de calendarios no pueden dar al año civil ó común una duración conforme á la del año trópico; de aquí que los años marcados en ellos recorran sucesivamente todas las estaciones y tan solo despues de un largo periodo de años vuelvan al punto de partida. Estuvieron en uso entre los antiguos Egipcios, Persas, Armenios y Griegos, y aun hoy parece que lo emplean los Coptos, aunque algo modificado.

317. CONCEPTO DE LOS CALENDARIOS LUNARES: PUEBLOS QUE DE ELLOS SE SIRVEN.—Se llaman *Calendarios lunares* los que únicamente se fundan en los movimientos de la Luna, ó mejor, en el periodo de sus fases. La duración de los meses está en ellos dispuesta de tal manera que el principio de cada uno corresponde poco más ó menos con el principio de un novilunio astronómico. Es claro que, dada la duración de una lunación ($29^d 12^h 44^m 2^s, 9$), no puede coincidir con ella la duración del mes en estos Calendarios; de aquí que unos tengan 29 días y otros 30, y que el año, compuesto constantemente de 12 meses, sea unas veces de 354 días y otras de 355.

Recordando la duración del año trópico (núm. 316) se comprende con facilidad que el año puramente lunar comienza de uno á otro año 10 ú 11 días antes que el solar, y por consiguiente que si estos Calendarios son lunares en sus pormenores, son vagos en su conjunto. A esta clase corresponde el *Calendario Arabe* ó *Musulman*, adoptado por todos los sectarios de Mahoma.

En este punto hay una particularidad digna de ser notada. Los días que cuentan los árabes en la práctica, ó sea, la fecha, no concuerdan casi nunca con los días marcados en los Calendarios impresos, y á veces tampoco concuerdan entre sí las fechas de distintas ciudades, pueblos, etcétera. Procede esta confusión de que los mahometanos cuentan como primer día del mes, el primer día en que vén la *Luna nueva*, y ya sabemos (núm. 264) que lo más pronto que puede verse la Luna nueva es á los dos días después de

su conjunción ó novilunio astronómico. La circunstancia de atender á la observación directa de la Luna, para comenzar el mes, explica también la diferencia de fechas entre dos ciudades, etc., puesto que puede suceder en virtud de la posición topográfica del lugar, de la existencia de las nubes, etc., que se vea la Luna nueva en un punto, antes que en otro.

Por todas estas circunstancias acostumbran los Arabes á fechar con el día del mes y el de la semana, siendo muy difícil cuando falta este último dato, por no decir imposible, concordar las fechas árabes con las nuestras.

318. CONCEPTO DE LOS CALENDARIOS LUNI-SOLARES: PUEBLOS QUE LOS EMPLEAN.—Se llaman *Calendarios luni-solares* los que están arreglados en sus pormenores por los movimientos de la Luna y en su conjunto por los del Sol (1).

Se procura en estos Calendarios que los distintos meses estén conformes en cuanto sea posible con el curso de la Luna, comenzando y acabando al mismo tiempo que las lunaciones, y además que el principio de cada año caiga en la misma estación y hácia la misma época.

Para conseguir lo primero, los meses son de 29 ó 30 días: para lo segundo hay dos clases de año: *común* y *embolístico*. El año común consta de 12 meses lunares y de unos 354 días; el embolístico de 13 meses lunares y de 384 días. Los años embolísticos están distribuidos en un periodo particular de años, llamado *ciclo*, al cabo del cual la época inicial del año se encuentra en las mismas circunstancias físicas. Por lo demás la duración del *ciclo* varia de unos pueblos á otros (19 años entre los Judíos; 70 entre los Chinos), así como también el lugar de la intercalación en el ciclo. Estos Calendarios luni-solares están en uso entre los

(1) Recuérdese lo que hemos dicho en el núm. 117, *nota*, y en el núm. 238 respecto de los movimientos verdaderos de la Tierra y de los aparentes del Sol.

Israelitas, Chinos, Japoneses, indígenas del Indostán, etcétera.

319. CONCEPTO DE LOS CALENDARIOS SOLARES: PUEBLOS QUE DE ELLOS SE SIRVEN.—Se llaman *Calendarios solares* los que se fundan única y exclusivamente en los movimientos aparentes del Sol, ó mejor, en la duración del año trópico. No constando este año de un número exacto de días, es claro que se ha de adoptar un procedimiento especial, para que la duración media del año del Calendario resulte igual á la del año trópico, con lo cual se tiene conseguido que el principio del año caiga constantemente en la misma estación, en la misma época y en las mismas circunstancias físicas para la Tierra.

Siendo por una parte este Calendario el que entre nosotros se usa, y por otra el que mejor responde á su objeto, lo expondrémos con alguna más extensión en los puntos siguientes:

1.º *Origen y progreso de nuestro Calendario hasta Julio César.*—Los Romanos que entre otros legados nos dejaron su Calendario, distribuían el año en sus primeros tiempos en 10 meses lunares, ocupando Marzo el primer lugar: los demás eran Abril, Mayo, Junio, Quintilis, Sextilis, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre. No se sabe qué duración tenía el año, ni por consiguiente la de cada mes, pero, al decir de Plutarco, debía de constar de 360 días, á pesar de componerse únicamente de 10 meses.

Más tarde, en el reinado de Numa Pompilio, el Calendario Romano experimentó una notabilísima reforma. Los 360 días de que constaba el año se distribuyeron en 12 meses de 30 días cada uno, variándose también el comienzo del año, puesto que los meses fueron en un principio Enero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Quintilis, Sextilis, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre y Febrero (1), pasando des-

(1) Comprueba esta afirmación el siguiente verso de Ovidio (*Fast.*, l. II, v. 49).

Qui sequitur Janum veteris fuit ultimus anni.

pués el mes de Febrero al segundo lugar, notándose el contrasentido de ocupar un lugar no conforme con su etimología los meses Quintilis, Sextilis, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre; contrasentido, que dicho sea de paso también existe en nuestro Calendario.

Como el año seguía constando de 360 días, es claro que al cabo de algún tiempo tenía que notarse cierta discordancia entre el Calendario y la vuelta de las estaciones, lo cual fué obviado, intercalando cada dos años un mes complementario, llamado *Mercedonius*, cuya duración debían determinar en cada caso los Pontífices del Paganismo. Por último, encargóse á estos el cuidar de todo lo concerniente al Calendario, y hasta tal punto abusaron del poder que se les había conferido, que llegó el caso de marcar el Calendario las fiestas de Primavera, cuando se estaba en el Otoño, y vice-versa. Se ha comprobado por un eclipse, cuya fecha romana ha conservado Tito Livio, que en el año 190 antes de Jesucristo el 1.º de Enero correspondía al 29 de Agosto.

2.º *Reforma juliana ó de Julio César*.—Cuando César en su guerra con Pompeyo estuvo en Egipto, conoció en Alejandría á un Astrónomo y Matemático, llamado Sosígenes, al cual oyó decir que el año solar (trópico) constaba de $365\frac{1}{4}$ días. Más tarde, cuando dueño de Roma, vióse investido de la dignidad de Sumo Pontífice y del poder de su dictadura, César hizo la reforma del Calendario Romano, que de él conserva su nombre (año 708 de la fundación de Roma.) Consiste esencialmente esta reforma en dar al año común una duración de 365 días, y en reservar las 6 horas sobrantes, para añadir un día intercalar cada cuatro años, teniendo por consiguiente este año 366 días. Dicha intercalación debía hacerse entre el 23 y el 24 de Febrero, recibiendo este día, dado el modo de contar de los Romanos, el nombre de *bissextus ante Calendas Martias*, de donde procede el nombre de *bisiesto*, dado al año de 366 días.

El año en que se llevó á la práctica la reforma, ó sea, el año siguiente al de su planteamiento teórico (709 de la fundación de Roma), lleva el nombre de *año de la confusión*, porque hubo que darle 445 días de duración, con el fin de que

las fiestas correspondiesen con las estaciones. Suprimi6se el mes *Mercedonius*; sigui6 empezando el a6o en 1.º de Enero, y el 6rden y el n6mero de d6as de los meses fueron tal como han llegado hasta nosotros. Por 6ltimo en honor de C6sar se di6 al mes *Quintilis* el nombre de Julio, lo que fu6 imitado un poco despu6s, llamando Agosto al mes *Sextilis* en honor de Augusto.

3.º *Reforma Gregoriana 6 del Papa Gregorio XIII.*—

La correcci6n de que acabamos de hablar no resolvi6 con exactitud la cuesti6n del Calendario, como facilmente se comprueba. En efecto; parti6se en ella de un dato falso, 6 saber, que la duraci6n del a6o tr6pico era de 365^d 6^h, cuando sabemos que su duraci6n verdadera es de 365^d 5^h 48^m 46^s, 0, 6 m6s exactamente, 365^d 5^h 48^m 46^s, 045. De aqu6, que el a6o del calendario juliano fuese y sea mayor que el tr6pico, y es claro que este exceso, acumul6ndose sucesivamente hab6a de impedir que continuase la concordancia deseada. Expresando ambas duraciones en decimales, para mayor claridad, tenemos

Duraci6n del a6o com6n en el Calendario juliano	. . . . .	365 ^d , 25
Duraci6n del a6o tr6pico	. . . . .	365 ^d , 2421996
Exceso anual del a6o juliano sobre el tr6pico	. . . . .	0 ^d , 0078004

El exceso indicado que pudiera despreciarse, si se tratara de un a6o aislado, es de 0^d, 0312016 en 4 a6os y sube 6 3^d, 12016 en 400 a6os, cantidad digna de tomarse en consideraci6n. Not6se esta diferencia en el Santo Concilio de Nicea, celebrado el a6o 325 de la era cristiana, en el cual, tratando los Padres de uniformar la celebraci6n de la Pascua en toda la Cristiandad, se encontraron con que el equinoccio de primavera ocurr6a aquel a6o el 21 de Marzo, cuando seg6n el Calendario juliano deb6a tener lugar el d6a 25.

Sabido es que la tradici6n Apost6lica y los decretos de los Sumos Pont6fices San Pio I y San Victor I determinaban que la Pascua hab6a de celebrarse en el Domingo m6s inmediato siguiente al plenilunio que cae en el equinoccio de primavera, 6 luego despu6s de 6l. Los Padres del Concilio, confirmando por una parte la tradici6n y decretos

mencionados y teniendo en cuenta por otra que el equinoccio de primavera ocurría en el año del Concilio el 21 de Marzo, determinaron que la Pascua se celebrase en adelante por todos los fieles en el Domingo más inmediato siguiente al plenilunio que cae en el 21 de Marzo, ó luego después de él.

Si la duración del año juliano hubiese estado enteramente conforme con la del año trópico, se comprende sin dificultad que, al cumplirse en toda la Iglesia el Decreto Conciliar, la Pascua se celebraría por los fieles en su tiempo oportuno. Pero el exceso del año juliano sobre el trópico hacía que cada 400 años se adelantase unos 3 días el equinoccio de primavera, por lo cual en 1582 cayó dicho equinoccio en el 11 de Marzo, originándose de aquí el trastorno consiguiente en la celebración de la Pascua.

Movido por esta circunstancia el Papa Gregorio XII se resolvió á reformar el Calendario juliano. Auxiliado en sus trabajos por el médico calabrés Luis Lilio, decretó que el día siguiente al 4 de Octubre de dicho año de 1582 no fuese el 5, sino el 15 del mismo mes, con lo cual hizo desaparecer todo el error acumulado hasta aquella fecha por el Calendario juliano. Y para que en adelante no ocurriese la misma perturbación prescribió Su Santidad que cada 400 años se suprimiesen los tres días que acumulaba el Calendario juliano, para lo cual y con el fin de dar alguna regularidad á esta supresión determinó que se suprimiesen los *bisiestos* en todos los años seculares, cuyo número no fuese divisible por 400. Así es, que fué bisiesto el año 1.600, pero no lo han sido el 1.700, ni el 1.800, ni el 1.900, y sí lo será el 2.000.

Esta es la corrección efectuada por el Papa Gregorio XIII, que de su Autor sé llamó *Gregoriana*. No es tampoco rigurosamente exacta, como es fácil comprobar, considerando la diferencia de duración entre el año juliano y el trópico, pero es tan corto el error que entraña, que se corrige con quitar un día cada 4.000 años, debiendo suprimirse el primero el año 5.100 de nuestra era, por donde se vé, que desde este punto de vista es injustificado el empeño de algunos Astrónomos en reformar nuevamente el Calendario.

La reforma Gregoriana fué admitida con prontitud y sin dificultad por todos los países Católicos, España, Francia, Portugal, Italia, etc., distinguiéndose nuestro gran monarca Felipe II, quien por pragmática de 19 de Septiembre del mismo año de 1.582 se apresuró á mandar que se cumpliese en todos sus reinos (1). Sucesivamente la admitieron los demás Estados de Europa y América, no contándose en la actualidad más que los Rusos y los Griegos, que sigan con el Calendario juliano, si bien, no parece estar lejos el día en que lo abandonen, y adopten el Gregoriano, gracias á la iniciativa tomada por la *Sociedad imperial astronómica de San Petersburgo*.

A causa de esta diferencia de Calendarios las fechas rusas se encuentran 13 días atrasadas respecto de las nuestras; de aquí que en las comunicaciones internacionales haya necesidad de poner ambas fechas. Por último hemos de advertir que el calendario juliano recibe también el nombre de *viejo estilo*, y el Gregoriano el de *nuevo estilo*.

§ II.— *Clasificación y estudio de los Calendarios por el uso, á que se destinan.*

320. CLASIFICACIÓN DE LOS CALENDARIOS POR EL USO, Á QUE SE DESTINAN.—Atendiendo al uso, para que se destinan, los Calendarios se dividen en *religiosos, civiles, astronómicos, metereológicos, etc. etc.*

321. CONCEPTO DE LOS CALENDARIOS RELIGIOSOS, CIVILES, ASTRONÓMICOS, METEREOLÓGICOS, ETC.—Los calendarios religiosos, civiles, etc. pueden pertenecer por su fundamento astronómico á cualquiera de las clases mencionadas en el párrafo anterior, distinguiéndose en que marcan las fiestas y obligaciones religiosas de los fieles, si son *religiosos*; las fiestas y obligaciones nacionales, si son *civiles*; los principales fenómenos del Universo, si son *astronómicos*; los

(1) Ley XIV, tit. I, lib. I, Novísima Recopil.

cambios de temperatura, lluvias, etc., si son *metereológicos*, etc. etc.

Sabido es que de ordinario en los Calendarios *usuales* ó *comunes* se marca todo lo que conviene tener presente á la Sociedad, así del órden religioso, como del social, científico, etc. Como estos Calendarios andan en manos de todos, no hay necesidad de que nos detengamos más en este punto. Unicamente daremos una idea del *Calendario Eclesiástico*, con lo cual quedarán completadas las nociones expuestas en este artículo.

322. CALENDARIO ECLESIASTICO.—Entendemos aquí por *Calendario eclesiástico* el que emplea nuestra Santa Madre la Iglesia Católica, para recordar á sus hijos, cuándo han de celebrarse sus festividades. Estas festividades son *fijas* ó *movibles*: de las primeras sólo hay que decir que determinado el día en que han de celebrarse un año, lo están ya para siempre; las segundas han de determinarse para cada año. Mas como todas ellas dependen de la fecha en que se celebre la *Pascua de Resurrección*, es claro que el problema se reduce á determinar esta última. Cuáles sean las principales fiestas movibles y en que relación estén con la Pascua, lo indica el siguiente cuadro:

Fiestas movibles.	Días en que se celebran.
Septuagésima	63 días antes de la Pascua
Miércoles de Ceniza	46 » » »
Pascua de Resurrección	Domingo más inmediato siguiente al plenilunio, que cae en el equinoccio de Primavera, ó luego después de él
Ascension	39 días después de la Pascua
Pentecostés	49 » » »
Sma. Trinidad	56 » » »
Corpus Christi	60 » » »

Véase por el cuadro anterior cuán necesario sea determinar con toda exactitud el día en que deba celebrarse la

Pascua de Resurrección. Mas antes de indicar los procedimientos que para ello pueden adoptarse, daremos ligeramente á conocer los elementos que constituyen el *Cómputo Eclesiástico* (1).

1.º *Ciclo lunar: Aéreo número.*—Se dá el nombre de *ciclo lunar* á un periodo de 19 años julianos, al cabo del cual los novilunios caen en el mismo día del año, aunque nó en la misma hora del día. Este ciclo fué descubierto por el Astrónomo ateniense Meton y sus conciudadanos lo esculpieron con letras de oro en el frontispicio del templo de Minerva. También se introdujo después la costumbre de escribir con letras de oro al frente del Calendario el número del ciclo que correspondía á cada año particular, por todo lo cual se le llamó *aéreo número*. Resulta por consiguiente que *aéreo número* de un año dado es el número que á dicho año corresponde en el ciclo lunar. Para hallar el aéreo número que corresponde á un año cualquiera basta *añadir una unidad al año dado, dividir la suma por 19, y el resto, nó el cociente, es el aéreo número que se busca*: si no hubiese resto en la división, el aéreo número es el mismo cociente, ó sea 19.

2.º *Ciclo solar: Letra dominical.*—Se llama *ciclo solar* un periodo de 28 años julianos, al cabo del cual los días de la semana caen en el mismo día del mes y en el mismo orden, que anteriormente. La costumbre de designar los días de la semana con las siete primeras letras del alfabeto A, B, C, D, E, F, G, es muy antigua: una de estas señala en cada un año el Domingo, ó día del Señor (dies dominica), que en otros tiempos se llamó también día del Sol. Por estas circunstancias el periodo de 28 años se llama *ciclo solar*, ó *de la letra dominical*. Conocida la letra dominical de un año, se tienen conocidas las fechas de todos los Domingos del mis-

(1) Exponemos principalmente estas nociones, porque el Santo Concilio de Trento prescribe (Sess. XXIII, cap. 18 *de Ref.*) que los Seminaristas aprendan el *Cómputo Eclesiástico*.

mo, para lo cual, no hay más que mirar en el Calendario perpétuo (1) los días que tengan al frente la letra dominical, los cuales serán Domingo. Del mismo modo se tienen conocidos los demás días de la semana, pues no hay mas que aplicar al Lunes la letra siguiente á la dominical, la siguiente al Martes, etc.: si por ser letra dominical, por ej. la E, no hubiese letras bastantes para todos los días de la semana, se vuelve á la A. Como el año común consta de 52 semanas y un día, es evidente que dicho año termina con el mismo día de la semana con que empezó, y por consiguiente que la letra dominical se cambia en 1.º de Enero de cada año en la antecedente, siguiendo el orden retrógrado de ellas G, F, E, D, C, B, A. Cuando el año es bisiesto, la letra dominical se cambia tambien en 24 de Febrero, teniendo por tanto dicho año dos letras dominicales: la primera sirve para Enero y Febrero; la segunda para los demás meses.

Para hallar la letra dominical que corresponde á un año dado, ha de hallarse antes el número que á dicho año corresponde en el ciclo solar. Este último se halla, *añadiendo al año dado 9 unidades; y dividiendo la suma por 28, el resto, no el cociente, es el número que se busca; si no hubiese resto, el mismo cociente sería el número; esto es, 28.*

Encontrado el número que el año ocupa en el ciclo, no hay más que acudir á la tabla, que marca la correspondencia entre los números del ciclo y las letras dominicales, y frente al número que al año corresponde en el ciclo, está la letra dominical correspondiente.

Antes de la corrección Gregoriana la tabla de las correspondencias entre el número del ciclo y la letra dominical era perpétua é invariable, puesto que de cada cuatro años uno era bisiesto sin alteración alguna; no sucediendo lo mismo en el Calendario Gregoriano, á causa de haberse suprimido tres años seculares bisiestos. Resulta por consi-

(1) Se forma el *Calendario perpétuo*, colocando sucesivamente y en el mismo orden las *siete letras dominicales*, á partir del 1.º de Enero: este día empieza por consiguiente con la A en dicho Calendario perpétuo y con la A termina en él el 31 de Diciembre.

guiente que la tabla de las correspondencias entre los números del ciclo y las letras dominicales sirve sin alteración para 99 años, ó á lo sumo para 199, cuando el secular intermedio es bisiestro. A continuación damos un cuadro que expresa esta correspondencia desde 1.901 hasta 2.099 ambos inclusive.

Número en el ciclo.	LETRA DOMINICAL correspondiente.	Número en el ciclo.	LETRA DOMINICAL correspondiente.
6	F	20	C
7	E	21	B-A
8	D	22	G
9	C B	23	F
10	A	24	E
11	G	25	D-C
12	F	26	B
13	E D	27	A
14	C	28	G
15	B	1	F E
16	A	2	D
17	G F	3	C
18	E	4	B
19	D	5	A-G

3.º *Ciclo de indicción Romana.*—Se dá el nombre de *indicción Romana* á un período de 15 años julianos, introducido en Roma bajo los emperadores. Parece que su origen se debe á un impuesto extraordinario que se recaudaba cada 15 años. Empleóse después como nota cronológica en los documentos y diplomas, y hoy se emplea en el mismo sentido en las Bulas de los Romanos Pontífices. Para hallar la indicción Romana de un año dado *se añaden á éste tres unidades; se divide la suma por 15 y el resto, no el cociente, es la indicción que se busca; si no hubiese resto, la indicción es el mismo cociente, ó sea, 15.*

4.º *Periodo juliano.*—Se dá el nombre de *periodo juliano* á un periodo de 7.980 años, inventado por Jorge Escaligero en el siglo XVI con el objeto de comparar entre sí las fechas históricas. Su principio corresponde al año 4.713 an-

tes de Ntro. Señor Jesucristo, el cual es por consiguiente el primero del periodo juliano, del ciclo lunar, del ciclo solar y de la indicción romana: pueden, pues, hallarse el áureo número, la letra dominical y la indicción romana correspondientes á un año dado de la era cristiana, añadiendo 4.713 al año dado, y dividiendo la suma por 19 para el áureo número, por 28 para el número del ciclo solar, y por 15 para la indicción. Si en la división no hay resto *el cociente*, es el número que se busca, pero si lo hay, *este* y no el cociente será dicho número.

5.º *Epacta*.—Se dá el nombre de *epacta* en un año dado á la edad de la Luna, al comenzar el año. Cuando la lunación termina en 31 de Diciembre, la epacta del año siguiente se marca con un asterisco *. Antes de la corrección Gregoriana sólo se empleaban 19 números epactales correspondientes á los 19 áureos números. Mas, como al cabo de los 19 años del ciclo lunar los novilunios no ocurren en las mismas horas del día, al hacer la corrección Gregoriana se adoptaron 30 números epactales, entre los cuales se escogen los 19 correspondientes á los áureos números, durante un tiempo dado: el número epactal 30 se marca con un asterisco *, porque 30 indica una lunación completa. Sirven, pues, las epactas para hallar los novilunios, que antes se buscaban por los áureos números, habiendo quedado estos para hallar la epacta correspondiente. A continuación damos un cuadro, donde se contienen los áureos números y epactas correspondientes desde el año 1.900 hasta el 2.199 ambos inclusive

Aúreo número	Epacta correspondiente.	Aúreo número.	Epacta correspondiente.
1	XXIX	11	XIX
2	X	12	*
3	XXI	13	XI
4	II	14	XXII
5	XIII	15	III
6	XXIV	16	XIV
7	V	17	XXV
8	XVI	18	VI
9	XXVII	19	XVII
10	VIII		

Sabido el modo de obtener la epacta y la letra dominical de un año dado, es muy fácil determinar la fecha de la Pascua en dicho año. Para ello ha de saberse que los Brevarios y Misales Romanos traen al principio un Calendario que comprende cinco divisiones: la primera contiene el ciclo de las epactas; la 2.^a el de la letra dominical; la 3.^a las Calendas, Nonas é Idus (1); la 4.^a el día del mes, y la 5.^a el Santoral, como puede verse por el cuadrado siguiente que presentamos para que se comprenda su significación.

MARTIUS				
XXIII	d	VIII	8	S. Joannis de Deo, Conf. duplex
XXII	e	VII	9	S. Franciscae Romanae, Viduae, duplex
XXI	f	VI	10	SS. Quadraginta Martyrum, semiduplex
XX	g	V	11	
XIX	A	IV	12	S. Gregorii I Papae, Conf. et Eccl. Doct., duplex

Esto supuesto y hallada la epacta y la letra dominical del año dado por los procedimientos indicados, se pasa á buscar la primera en el Calendario desde el 8 de Marzo hasta el 5 de Abril ambos inclusive y en el día en que se encuentre será el novilunio pascual de dicho año. Se cuentan después catorce días hacia adelante, comenzando en el mismo del novilunio, y el que haga catorce será el plenilunio pascual. Hallado este, no hay más que buscar, comenzando en el día del plenilunio y siguiendo adelante el día á que corresponda la letra dominical del mismo año: este día es el de la Pascua de Resurrección.

(1) Modo de contar de los Romanos, y que hoy suele también emplearse, cuando se escribe en Latín.

Ejemplo: Se pide el día en que caerá la Pascua en el año de 1.920.

1.º Busco el áureo número de 1.920, que es el resto de $\frac{1920 + 1}{19}$, ó sea, 2, y con él busco la epacta correspondiente, que según el cuadrito de la pág. 373 es X.

2.º Busco el número que corresponde al año 1.920 en el ciclo solar, que es el resto de $\frac{1.920 + 9}{28}$, ó sea, 25, y con él busco la letra dominical correspondiente, la cual según el cuadrito de la pág. 372 es DC; esto es, que tiene dos; mas como se trata de una fecha posterior á Febrero, tomo la 2.ª, C. Con estos dos datos, como argumentos, entro en el Calendario del Breviario, comenzando por el 8 de Marzo.

El número epactal X está frente al día 21; luego el novilunio pascual cae á 21 de Marzo en el año 1.920. Cuento 14 hacia adelante, comenzando en el día del novilunio hallado, ó sea, el 21 y veo que el 3 de Abril hace el 14; luego el plenilunio pascual cae á 3 de Abril en el año 1.920. Comenzando en dicho 3 de Abril hácia adelante, veo que la letra dominical C está frente al 4 del mismo Abril. Luego la Pascua de Resurrección caerá el día 4 de Abril en el año 1.920.

Fúndase el procedimiento expuesto en que, asignado el 21 de Marzo para el equinoccio vernal, y el domingo más inmediato siguiente al plenilunio que cae en el equinoccio, ó luego después de él para la Pascua; 1.º, el novilunio pascual no puede caer antes del 8 de Marzo, ni después del 21 del mismo mês; 2.º, el plenilunio pascual no puede caer antes del 21 de Marzo, ni después del 5 de Abril. Resulta por consiguiente que la Pascua ha de caer siempre entre el 21 de Marzo y el 25 de Abril.

Expondrémos ahora un procedimiento para hallar el día de la Pascua en un año cualquiera, sin recurrir, al ménos en apariencia, á los elementos del cómputo. Fué excogitado por Gaus, profesor de Gotinga en 1.800, y aunque largo, es sin embargo sencillo: lo compendiamos en las siguientes operaciones, en las cuales llamaremos A al año dado.

1.ª—Se divide A por 19 y se aparta su resto, aunque sea cero, que llamaremos *a*.

2.^a—Se divide A por 4 y se aparta su resto *b*.

3.^a—Se divide A por 7 y se aparta su resto *c*.

4.^a—Se divide $19a + M$ por 30 y se aparta su resto *d*.

5.^a—Se divide $2b + 4c + 6d + N$ por 7 y se aparta su resto *e*.

Hecho esto, la Pascua caerá en el año dado á

$$22 + (d + e) \text{ de Marzo}$$

ó, si se quiere, á

$$(d + e) - 9 \text{ de Abril.}$$

Las Letras M y N pueden tener distintos valores, como se indica en el cuadrito siguiente en el cual incluimos hasta el año 2.400.

Valor de M	Valor de N	EPOCA Á QUE CORRESPONDEN
15	6	Si se trata de un año anterior á 1.582, ó de un país donde no se ha recibido la corrección Gregoriana, empleándose el calendario juliano.
22	3	Si de 1.582 á 1.699.
23	3	Si de 1.700 á 1.799.
23	4	Si de 1.800 á 1.899.
24	5	Si de 1.900 á 1.999.
24	4	Si de 2.000 á 2.099.
24	6	Si de 2.100 á 2.199.
25	0	Si de 2.200 á 2.299.
26	1	Si de 2.300 á 2.399.

Ejemplo:—Se pide el día en que caerá la Pascua en el año 1.920. Practicando las operaciones anteriormente dichas, se tiene:

$$\begin{array}{l}
 1.^a \frac{A}{19} = \frac{1920}{19} = 101, \text{ con } 1 \text{ de resto} \\
 2.^a \frac{A}{4} = \frac{1920}{4} = 480, \text{ con } 0 \text{ de resto} \\
 3.^a \frac{A}{7} = \frac{1920}{7} = 274, \text{ con } 2 \text{ de resto} \\
 4.^a \frac{19a + M}{30} = \frac{19 + 24}{30} = 1, \text{ con } 13 \text{ de resto} \\
 5.^a \frac{2b + 4c + 6d + N}{7} = \frac{0 + 8 + 78 + 5}{7} = 13 \text{ con } 0 \text{ de resto}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = 1 \\ b = 0 \\ c = 2 \\ d = 13 \\ e = 0 \end{array}$$

Por lo cual la Pascua caerá en el año 1.920 en $22 + (d + e)$ de Marzo = $22 + 13 + 0 = 35$ de Marzo, ó sea el 4 de Abril ó bien á

$$(d + e) - 9 \text{ de Abril} = (13 + 0) - 9 = 4 \text{ de Abril.}$$

Para más pormenores respecto del Cómputo, de otros problemas que pueden resolverse por medio de sus elementos, así como también respecto del arte de concordar las fechas por medio del calendario perpétuo ó del periodo juliano, etc., etc. remitimos á nuestros alumnos y lectores á los tratados especiales que se han publicado sobre la materia.

ARTÍCULO III.

ECLIPSES.

323. CONCEPTO GENERAL DE LOS ECLIPSES.—Se dá en general el nombre de *eclipse* á la privación de luz que experimenta un astro por la interposición de otro entre él y aquél de quien la recibe. Para hacerse cargo de esta definición, ha de tenerse presente que los astros son proximamente esféricos, y que una gran parte son opacos, recibiendo de otro principal la luz que ilumina sus superficies. Concretándonos á nuestro sistema, sabemos ya (núm. 184) que el Sol irradia torrentes de luz en todas direcciones, iluminando con sus rayos las superficies de los planetas y satélites, que circundándolo por los espacios, forman con él el sistema solar.

Efecto de su forma esférica y de recibir la luz del Sol, los planetas y satélites de nuestro sistema dejan en pos de sí un *cono de sombra* (el formado por las tangentes exteriores á ambos astros) y otro de *penumbra* el determinado por las tangentes interiores (*Fig. 171*) los cuales hacen que el espacio por ellos comprendido quede privado por completo de la luz del Sol, si se trata del cono de *sombra* ó *umbroso*, ó reciba debilitada dicha luz, si del cono de *penumbra*.

Se concibe, pues, con gran facilidad que, si un planeta

ó satélite penetra parcial ó totalmente en el cono umbroso de otro, quedará aquél privado de una parte, ó de toda la

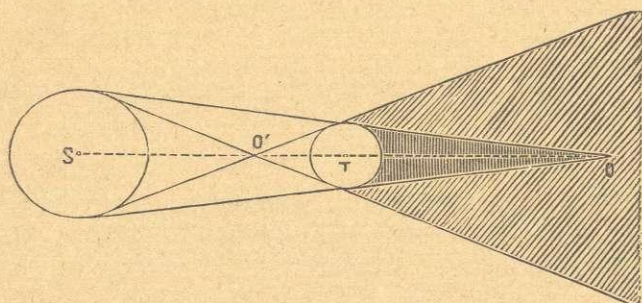


FIG. 171.—CONOS DE SOMBRA Y PENUMBRA DE LOS ASTROS.

luz que recibe del Sol, produciéndose entonces ese fenómeno admirable y siempre nuevo, llamado *eclipse*.

324. DIFERENCIA ENTRE LOS ECLIPSES Y LAS OCULTACIONES.—La *ocultación de un astro* es un fenómeno de la misma naturaleza que los eclipses, pero que conviene distinguir cuidadosamente de estos, si se quieren tener ideas claras sobre este punto de la Ciencia Astronómica. Se dice que un astro *es ocultado*, cuando otro se interpone entre él y el habitante de la Tierra, impidiendo que este lo vea. No es necesario que un astro tenga mayor volumen que otro para que pueda ocultarlo, basta que, visto desde la Tierra, aparezca con mayor diámetro. Así se comprende que el Sol oculte estrellas y planetas; que los planetas oculten estrellas, y que la Luna oculte estrellas y planetas.

Las ocultaciones mas dignas de estudio son las de estrellas y planetas por la Luna, las cuales se utilizan principalmente (núm. 308) para comprobar si existe, ó nó, atmósfera en la superficie lunar. Pueden calcularse de antemano las estrellas y planetas que han de ser ocultados por la Luna en un punto dado, y con efecto las Efemérides y Anuarios Astronómicos traen hecho este cálculo. *El Almanaque Náutico*

dá un estado, en el que se encuentran todos los planetas y estrellas fijas, que pueden ser ocultadas por la Luna, las posiciones aparentes de estos astros y los límites de visibilidad sobre la Tierra de dichas ocultaciones; y otro, en el cual se indican las ocultaciones visibles desde San Fernando.

325. PASOS DE MERCURIO Y DE VENUS SOBRE EL SOL.— Otro fenómeno de la índole de las ocultaciones y de los eclipses es el que se refiere á la interposición de los planetas interiores entre la Tierra y el Sol. Como la órbita de estos planetas está comprendida dentro de la de la Tierra, es claro que en ciertas ocasiones dichos planetas se interpondrán entre la Tierra y el Sol, no produciéndose un eclipse, ni una ocultación por la pequeñez del diámetro aparente de dichos astros. En este caso el habitante de la Tierra vé que los mencionados planetas se proyectan como un punto negro sobre el disco solar, atravesándolo de una á otra parte. Este fenómeno ha sido llamado por los Astrónomos con el nombre de *paso*, de Mercurio ó de Venus, según sea el planeta de que se trate. Los pasos de Venus han adquirido mucho interés y celebridad, por utilizarse por los Astrónomos para rectificar las medidas de la paralaje del Sol.

326. ECLIPSES, OBJETO DE NUESTRO ESTUDIO.— Los eclipses que principalmente constituyen el objeto de los estudios astronómicos son los de Luna y de Sol, y los de los satélites de Júpiter. Estos últimos se han utilizado para medir la velocidad de la luz, como indicaremos en su lugar oportuno. Estudiarémos aquí por consiguiente los de Luna y de Sol, advirtiéndolo que estos últimos deberían llamarse, según la definición que hemos dado de eclipse (núm. 323), *eclipses de Tierra*, puesto que esta es la que queda privada de los rayos del Sol, y no el Sol de los de la Tierra. A pesar de esto, continúan llamándose *eclipses de Sol*, por no introducir un nuevo tecnicismo, que, aunque más conforme con la realidad, pudiera engendrar confusión.

§ I.—*Eclipses de Luna.*

327. CONCEPTO GENERAL DE LOS ECLIPSES DE LUNA.—En conformidad con la definición dada de eclipse (número 323), llamamos *eclipse de Luna* á la privación de luz que experimenta por la interposición de la Tierra entre ella y el Sol.

328. POSIBILIDAD DE LOS ECLIPSES DE LUNA.—Es evidente que la Luna ha de penetrar parcial ó totalmente en el cono de sombra que la Tierra proyecta en el espacio, para que pueda quedar privada de los rayos del Sol, que iluminan su superficie, (núm. 323). Probémos, pues, que este fenómeno puede realizarse y para ello demostrémos las dos siguientes proposiciones:

1.^a *La distancia que hay desde la Tierra á la Luna es menor que la que existe entre la Tierra y el vértice del cono de sombra que proyecta en el espacio.*

2.^a *La Luna cabe perfectamente dentro del cono de sombra que la Tierra proyecta.*

Y en efecto:

1.^a Sea (Fig. 172) S el Sol; T la Tierra; y BAB' una

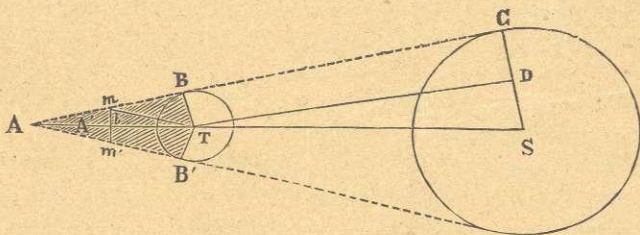


FIG. 172.—TEORÍA DE LOS ECLIPSES DE LUNA.

sección plana del cono de sombra que la Tierra proyecta en

el espacio. Vamos á demostrar que TA, distancia entre el centro de la Tierra y el vértice del cono de sombra que proyecta, es mayor que la mayor distancia á que pueden encontrarse la Tierra y la Luna, y para ello emplearemos el procedimiento más sencillo, puesto que no exige, para su inteligencia, sino conocimientos de la Geometría.

Trazando la recta TD, paralela á la tangente exterior BC, obtenemos un triángulo DTS, el cual es semejante al BAT. De la semejanza de estos dos triángulos se obtiene la proporción

$$ST : TA :: DS : BT$$

pero $DS = (CS - CD)$ y $CD = BT$, luego

$$ST : TA :: (CS - BT) : BT \quad (\alpha)$$

Ahora bien; ST es la distancia que hay entre el Sol y la Tierra, cuyo valor medio es de 23 439,18 radios terrestres (núm. 165); CS es el radio del Sol, cuyo valor es de 109,30 radios terrestres (núm. 166), y BT es el radio de la Tierra. Llamando ρ á este radio y haciendo las sustituciones correspondientes en la fórmula (α), tenemos

$$23.439,18 \rho : TA :: (109,30 \rho - \rho) : \rho$$

de donde

$$TA = \frac{23.439,18 \rho \times \rho}{109,30 \rho - \rho} \quad (\beta)$$

y tomando como unidad el radio de la Tierra y efectuando las operaciones indicadas en la fórmula (β), se deduce

$$TA = \frac{23.439,18 \rho}{108,30 \rho}$$

de donde

$$TA = 216,42 \rho$$

Recordando ahora (núm. 296) que la distancia media de la Luna á la Tierra es de 60,27 radios terrestres y la mayor

de 64, es evidente que esta distancia es menor que la que hay entre la Tierra y el vértice del cono de sombra que proyecta esta en el espacio, el cual vale 216,42 radios terrestres. Luego la Luna puede penetrar en el cono de sombra de la Tierra.

2.^a Sea mm' la línea en que corta la órbita de la Luna al cono de sombra de la Tierra. Vamos á demostrar que mm' es mayor que el diámetro de la Luna. La parte de la órbita lunar mm' , puede considerarse como rectilínea y paralela al radio de la Tierra BT ; por consiguiente los triángulos BTA y mbA son semejantes, deduciéndose de su semejanza la proporción

$$TA: bA :: BT: mb$$

Pero $bA = TA - bT$; sustituyendo, se tiene

$$TA: (TA - bT) :: BT: mb \quad (\alpha)$$

Ahora bien; sabemos por la demostración anterior que $TA = 216,42 \rho$; sabemos también que $bT = 64 \rho$ (tomando la mayor distancia entre la Luna y la Tierra), y que $BT = \rho$. Sustituyendo, pues, estos valores en la fórmula (α), tenemos.

$$216,42 \rho: (216,42 \rho - 64 \rho) :: \rho: mb$$

de donde

$$mb = \frac{(216,42 \rho - 64 \rho) \times \rho}{216,42 \rho}$$

Por último, tomando á ρ como unidad y efectuando las operaciones indicadas, se obtiene

$$mb = 0'7042 \rho$$

y también, como $mb = \frac{mm'}{2}$

$$mm' = 1'4084 \rho$$

Siendo, pues, el valor de mm' $1'4084 \rho$ y el del diámetro lunar $0'54590 \rho$ (núm. 297), es evidente que la Luna cabe perfectamente (aún á su mayor distancia de la Tierra) den-

tro del cono de sombra que la Tierra proyecta en el espacio.

329. CONDICIONES NECESARIAS Y SUFICIENTES PARA QUE SE VERIFIQUEN LOS ECLIPSES DE LUNA.—Para que se verifiquen los eclipses de Luna, cuya posibilidad queda demostrada, se requieren y bastan las dos condiciones siguientes: 1.^a que la Luna se encuentre en oposición con el Sol; 2.^a que se encuentre en uno de sus nodos, ó próxima á él.

Que se requiere la 1.^a condición es evidente, puesto que solo cuando la Luna está en oposición es cuando la Tierra puede interponerse entre ella y el Sol. No es menos evidente que esta condición no es suficiente por sí sola para que se realice el eclipse, pues si lo fuera, en cada lunación habría un eclipse de Luna, puesto que en cada lunación al llegar la Luna á su plenilunio está en oposición con el Sol. Además, sabemos que el plano de la órbita lunar está inclinado $5^{\circ} 8' 47''$, 9 sobre el plano de la eclíptica (núm. 301) y por lo tanto puede suceder, y de hecho sucede muchas veces, que la Luna pase por encima ó por debajo del cono de sombra de la Tierra, al estar en oposición con el Sol.

Que se requiere la 2.^a condición mencionada lo prueba el hecho ya aducido de la inclinación de la órbita lunar sobre la eclíptica. Como aquella órbita corta á ésta en dos puntos llamados *nodos de la Luna* (núm. 270) es claro que sólo cuando la Luna se encuentre en uno de sus nodos ó próxima á él estará en el plano de la eclíptica, ó próxima á él, y por consiguiente en condición apta para encontrar el cono de sombra de la Tierra. Se prueba también muy fácilmente que esta segunda condición no basta por sí sola para que haya eclipse de Luna, pues si bastase, en cada lunación habría dos eclipses de Luna, puesto que dos veces pasa la Luna por sus nodos. Además, dada la retrogradación de los nodos (núm. 286) se tendría que dar el caso de eclipsarse la Luna, sin que la Tierra se interpusiese entre ella y el Sol lo que es imposible, como hemos visto antes.

Es necesario que se den juntas ambas condiciones, y entonces por necesidad se da el eclipse de Luna. En efecto; dado que la Luna esté en su plenilunio y en su nodo ó

próxima á él, nuestro satélite está ó en el mismo plano de la eclíptica, ó próximo á él; la Tierra se interpone entre él y el Sol y el cono de sombra de nuestro globo, que se extiende en el espacio mucho más allá de la Luna envuelve á esta, dejándola sumida en la oscuridad.

330. CLASIFICACIÓN DE LOS ECLIPSES DE LUNA.—Los eclipses de Luna pueden ser *totales* ó *parciales*. Se dice que el eclipse es *total* cuando la Luna queda privada por completo de los rayos del Sol; y *parcial*, cuando solo queda privada una parte mayor ó menor de su superficie. El eclipse total se llama *central*, cuando los centros del Sol, de la Tierra y de la Luna están en línea recta.

331. OBSERVACIONES SOBRE LOS ECLIPSES DE LUNA.—Antes de terminar este punto harémos algunas observaciones, que completen las nociones expuestas.

1.^a *Aspecto y límites de visibilidad de los eclipses de Luna.*—Al verificarse un eclipse de Luna, sobre todo, si es total, comienza debilitándose la luz que ilumina su superficie, á causa de penetrar en el cono de penumbra de la Tierra; después, y sin que á veces se pueda precisar con exactitud el tránsito, invade al disco lunar una mancha gris oscura, perfectamente circular (1), la cual ocupa sucesivamente todo el disco, hasta dejarlo privado completamente de los rayos solares. No queda sin embargo la Luna, aún en la fase total del eclipse, completamente oscura, ni por consiguiente invisible; antes por la inversa, queda debilmente iluminada por una luz gris roja. Débese esta debil iluminación á los rayos solares que atraviesan la atmósfera de la Tierra: estos rayos experimentan dos refracciones, una al entrar en la atmósfera y otra al salir de ella, pero ambas contribuyen á hacerlos converger hacia la línea que une los centros de

(1) Hemos dicho en el número 7 que la forma circular de esta sombra prueba la redondez de la Tierra.

la Tierra y el Sol, y por lo tanto dichas refracciones hacen que los rayos refractados en la atmósfera terrestre encuentren á la Luna, impidiendo de este modo que quede completamente oscura é invisible.

Los eclipses de Luna son visibles para todos los habitantes de la Tierra que la tienen sobre su horizonte, esto es, para todos los habitantes de un hemisferio, y además, si se tiene en cuenta que la Tierra gira constantemente sobre sí misma, para algunos del otro; todos los cuales pueden percibir tan admirables fenómenos.

2.^a *Magnitud de un eclipse parcial de Luna.*—Se llama *magnitud* de un eclipse parcial de Luna la relación que existe entre la parte oscura y la no eclipsada. Esta magnitud se apreciaba antes por *dígitos*, para lo cual se dividía el diámetro lunar en 12 dígitos y cada dígito en 60' etc. Hoy se toma el diámetro lunar por unidad y se divide en 1.000 partes; así se dice que la parte eclipsada es, por ej., 0'500, 0'800, etc.

§ II.—*Eclipses de Sol.*

332. CONCEPTO GENERAL DE LOS ECLIPSES DE SOL.—En conformidad con lo que ya hemos dicho (números 323 y 326) llamamos *eclipse de Sol* á la privación de luz que experimenta la Tierra por la interposición de la Luna entre ella y el Sol.

333. POSIBILIDAD DE LOS ECLIPSES DE SOL.—Según los principios que ya hemos expuesto, es evidente que no puede darse un eclipse de Sol, si el cono de sombra que la Luna proyecta en el espacio no llega hasta la Tierra. Probemos, pues, que este fenómeno puede realizarse, y para ello demostremos la siguiente proposición:

La distancia que hay entre la Luna y la Tierra puede ser en algún caso menor que la existente entre la Luna y el vértice del cono de sombra que proyecta en el espacio.

Y en efecto: Sea (Figura 173) S el Sol, L la Luna, y

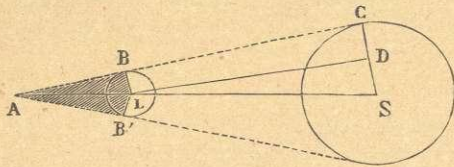


FIG. 173.—TEORÍA DE LOS ECLIPSES DE SOL.

BAB' una sección plana del cono de sombra que la Luna proyecta. Vamos á demostrar por el procedimiento empleado en el número 328 que pueden darse algunos casos en que LA sea mayor que la

distancia de la Luna á la Tierra. Los dos triángulos semejantes SDL y BLA nos dan la proporción

$$SL : LA :: DS : BL.$$

Pero $DS = (CS - CD)$ y $CD = BL$, luego

$$SL : LA :: (CS - BL) : BL. \quad (\alpha)$$

Ahora bien; SL es la distancia que hay entre la Luna y el Sol, cantidad variable, puesto que depende de la posición de la Luna con relación á la Tierra, y de esta con relación al Sol, pero siempre que los tres astros se encuentren en el mismo plano, y la Luna esté en su novilunio, dicha cantidad será igual á la distancia que haya de la Tierra al Sol, menos la que en las mismas circunstancias exista entre la Tierra y la Luna; por lo cual $SL = \Delta - \delta$, llamando Δ á la distancia de la Tierra al Sol y δ á la distancia de la Luna á la Tierra. Además, CS es el radio del Sol, que es una cantidad constante, y por último BL es el radio de la Luna, cantidad también constante. Llamando R al radio del Sol y r' al de la Luna, la fórmula (α) puede generalizarse en la siguiente:

$$\Delta - \delta : LA :: R - r' : r'$$

de donde

$$LA = \frac{(\Delta - \delta) \times r'}{R - r'}. \quad (\beta)$$

Se comprende facilmente que siendo $\Delta - \delta$ la única

cantidad que hay variable en la fórmula anterior, de ella depende el valor de LA. Ahora bien; el valor de Δ oscila entre 23.818'106 radios terrestres (distancia máxima de la Tierra al Sol) y 23.020 radios terrestres (distancia mínima entre los mismos astros), y el de δ entre 64 y 56 radios terrestres, (distancias máxima y mínima respectivamente entre la Luna y la Tierra). Pueden, pues, hacerse un número muy considerable de combinaciones entre los valores de Δ y de δ , y así examinar si en algún caso el valor de LA resulta mayor que el de δ , en el cual caso, si se dá, el cono de sombra de la Luna llegará hasta la Tierra. Hagamos una de estas combinaciones, para llevar al ánimo la convicción de la verdad que encierra la proposición, que hemos sentado al principio de este número.

Supongamos que la Tierra se encuentra á su distancia media del Sol, y la Luna á su distancia mínima de la Tierra, esto es, en su *perigeo*. En este caso la fórmula (β) se convierte en esta otra, en la cual llamamos r al radio de la Tierra.

$$LA = \frac{(23.439'18r - 56r) \times 0'27295r}{109'30r - 0'27295r}$$

y, efectuando las operaciones indicadas, se tiene

$$LA = 58'539r.$$

Por donde se vé que, encontrándose la Luna á 56 radios terrestres de la Tierra, y extendiéndose su cono hasta los 58'539 radios terrestres, dicho cono no solamente tocará en la Tierra, sino que pasará más allá de esta (1).

334. CONDICIONES NECESARIAS Y SUFICIENTES PARA QUE SE VERIFIQUEN LOS ECLIPSES DE SOL.—Para que se verifiquen los eclipses de Sol son necesarias y bastan las dos condi-

(1) Se vé con facilidad que pudieran hacerse combinaciones todavía más favorables, pues pudiera suponerse la Tierra en *afelio* y la Luna en *perigeo*.

ciones siguientes: 1.^a, que la Luna se encuentre en conjunción con el Sol; 2.^a, que esté en uno de sus nodos, ó próxima á él.

Para convencerse de que estas dos condiciones son necesarias, sin que baste ninguna de ellas por sí sola, y sí ambas, no hay más que tener presente, que solo cuando la Luna está en conjunción, ó sea en un novilunio, es cuando se encuentra entre el Sol y la Tierra (núm. 277), y recordar lo que hemos dicho en el número 330.

335. CLASIFICACIÓN DE LOS ECLIPSES DE SOL.—Los eclipses de Sol pueden ser de tres clases: *parciales*, *totales* y *anulares*. Los *parciales* son aquellos en que solo oculta la Luna una parte del disco solar, que puede ser mayor ó menor, según los casos.

Los *eclipses totales* son aquellos en que una zona determinada de la Tierra queda privada por completo de los rayos solares, por cubrir el disco lunar todo el disco del Sol. Acontecen estos eclipses cuando, dadas las posiciones convenientes de la Tierra y de la Luna en sus órbitas respectivas, el cono de sombra de la Luna, llega hasta la Tierra (Fig. 174). En este caso, el vértice del cono de sombra

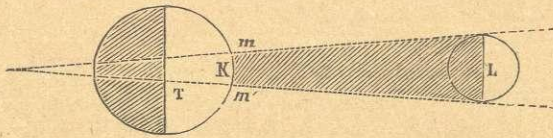


FIG. 174.—TEORÍA DE LOS ECLIPSES TOTALES DE SOL.

lunar, está, como se nota en la figura, mucho más allá del punto K, y por consiguiente, todos los puntos de la Tierra situados dentro del círculo, que se proyecta en *mm'* ven un eclipse total de Sol.

Conviene tener muy presente que los *eclipses totales de Sol* se diferencian de los *totales de Luna*, en que estos son visibles en todo un hemisferio de la Tierra, mientras que

aquellos solo son visibles, *como totales*, en los puntos situados dentro del círculo *mm'*.

Los eclipses anulares son aquellos en que la Luna oculta solo el centro del disco solar, dejando á su alrededor un anillo luminoso, de mayor ó menor extensión, según los casos. Verificanse estos eclipses, cuando el cono de sombra de la Luna no llega hasta la Tierra (*Fig. 175*), pero dadas

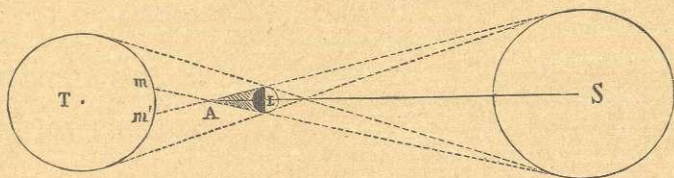


FIG. 175.—TEORÍA DE LOS ECLIPSES ANULARES DE SOL.

las posiciones de estos astros, la segunda hoja del cono *m Am'* alcanza á nuestro globo. En este caso, los puntos situados en el círculo, que se proyecta en *mm'*, no pueden ver un eclipse total, por no estar sumergidos en el cono de sombra lunar, pero observan un eclipse anular, que si no es tan bello, como el total, no carece sin embargo de maravillas.

336. OBSERVACIONES SOBRE LOS ECLIPSES DE SOL.—Con el fin de que las nociones expuestas sean un poco más completas hacemos las siguientes observaciones:

1.^a *Aspecto y límites de visibilidad de los eclipses de Sol.*
—Al verificarse un eclipse de Sol, el borde oriental de la Luna comienza á ocultar el borde occidental del Sol, proyectándose aquella sobre este, como una mancha oscura, que se termina hacia la parte no eclipsada del disco solar en forma de arco de círculo. Las dimensiones de esta mancha aumentan constantemente, hasta llegar á la fase máxima, si se trata de un eclipse parcial; á cubrir todo el disco

del Sol, si de un eclipse total; ó por último, á proyectarse como un disco negro sobre el centro del Sol, si de un eclipse anular.

Por lo que respecta á los límites de su visibilidad sobre la Tierra, ya lo hemos indicado anteriormente; los eclipses de Sol solo son visibles en una zona que no alcanza, ni con mucho, á un hemisferio terrestre, y si se trata de un eclipse total la zona de totalidad es sumamente reducida, lo cual es debido á que la parte del cono de sombra lunar, que llega á la Tierra es muy pequeña para que pueda ocultar el Sol á una gran extensión de la superficie terrestre. Por esta razón, cuando se anuncian los eclipses de Sol, se añade también, dónde son visibles, y á veces, dónde son invisibles.

2.^a *Magnitud de un eclipse parcial de Sol.*—Sobre este punto no hay más que recordar lo que queda dicho en la observación 2.^a sobre los eclipses de Luna, aplicándolo, como es natural, al disco solar.

3.^a *Fenómenos que acompañan á los eclipses totales de Sol.*—Pocos espectáculos puede contemplar el hombre sobre la Tierra tan imponentes, grandiosos y sublimes, como el de un eclipse total de Sol. Obsérvase en primer término el exacto cumplimiento de la predicción, ó cálculo matemático, teniendo lugar el eclipse en el momento prefijado, quizá con muchos años de anticipación: ¡hermoso triunfo de la inteligencia humana en el conocimiento de las leyes inmutables que Dios nuestro Señor impuso á los astros en su Creación!

A medida que el eclipse avanza, disminuye la luz, baja la temperatura, cesan de cantar y buscan sus nidos las aves, ocúltanse los polluelos bajo las alas de sus madres, sopla con menos fuerza el viento, el rostro del hombre toma un tinte cada vez más pálido, aparecen los planetas que están sobre el horizonte, las estrellas de 1.^a magnitud y algunas de 2.^a, y la Naturaleza toda queda sumida en profundo silencio, cual si estuviese dormida, ó, presa de estupor y angustia indefinibles, se acercase á la muerte.

Al llegar la totalidad, la Luna se proyecta como un

cuerpo oscuro, sobre el disco solar, y este aparece rodeado de una hermosa aureola de lúcidos rayos, *la corona ó atmósfera coronal* (1). Por último, es tal el efecto que tan singular y magnífico fenómeno produce en los espectadores, que según relaciones de sabios Astrónomos que los han presenciado, una salva de aplausos ha saludado más de una vez al primer rayo de Sol, que aparece después del eclipse.

§ III. — *Predicción y cálculo de los eclipses.*

337. PERIODO EN QUE SE REPRODUCEN LOS ECLIPSES: SA-
ROS DE LOS CALDEOS.— Como se desprende de los párrafos anteriores, las condiciones necesarias para que se den los eclipses, ya sean de Sol, ya de Luna, pueden expresarse, diciendo que la Luna ha de estar en una de sus *sizigias* (número 278), y en uno de sus nodos, ó próxima á él. Se comprende, pues, con facilidad que si se puede predecir, cuando la Luna estará en dichas condiciones, por la misma razón quedará hecha la predicción de los eclipses. Vamos á abordar esta cuestión, aunque, según nuestro plan, sumaria y elementalmente.

Sabemos (núm. 270) lo que se entiende por *nodos de la Luna*; sabemos también (núm. 286) que estos nodos *retrogradan* constantemente, y la *cantidad* que retrogradan cada día. Esto supuesto, se llama *revolución sinódica de los nodos lunares* el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol por un mismo nodo (2). Se vé, según la definición dada, que al cabo de una revolución sinódica de los nodos lunares, el Sol y dichos nodos se encuentran en las mismas posiciones relativas, que al comenzar dicha revolución. Se vé también que, durante una revolución, el Sol y los nodos ocupan sucesivamente las mismas posiciones relativas que

(1) Véanse los números 180 y 182, donde hemos expuesto lo relativo á las *protuberancias* y *corona solares*.

(2) No se olvide que el movimiento del Sol, á que arriba nos referimos, no es más que aparente, siendo la Tierra la que realmente se mueve.

ocuparon durante la anterior, y que ocuparán durante la siguiente, y así sucesivamente. Evaluémos ahora el tiempo de dicha revolución.

Conocemos (núm. 152) el valor de las velocidades angulares máxima y mínima del Sol; ahora añadimos que su *velocidad media diaria* es de $59' 8'', 33$, y advertimos nuevamente que *dicho movimiento es directo* (núm. 151). Es claro que, si el nodo lunar estuviese inmóvil, el Sol volvería á él, al aumentar su longitud 360° , esto es, al cabo de un año. Mas como el nodo lunar se mueve *con movimiento retrógrado* y con una velocidad de $3' 10'', 64$ por día, es evidente que el Sol llegará á él antes del año.

Supóngase, para emplear una sencilla demostración, que el nodo está inmóvil, y que el Sol recorre la eclíptica con un movimiento medio diario, que sea igual á la suma del suyo y del que corresponde al nodo, ó sea $(59' 8'', 33) + (3' 10'', 64)$. Se vé ahora claramente que si el Sol emplea un día en recorrer $(59' 8'', 33) + (3' 10'', 64)$, en recorrer los 360° , que lo separan del nodo, empleará x días, elementos que nos suministran la siguiente proporción:

$$(59' 8'', 33) + (3' 10'', 64) : 360^\circ :: 1 : x$$

de donde

$$x = \frac{360^\circ}{(59' 8'', 33) + (3' 10'', 64)}$$

y efectuando las operaciones indicadas

$$x = 346^d, 62.$$

Resulta, por consiguiente, que $346^d, 62$ es el periodo de la revolución sinódica de los nodos lunares, durante el cual el Sol y la línea de dichos nodos conservan las mismas posiciones relativas que tuvieron durante otra revolución anterior, y que tendrán en las siguientes.

Ahora bien; para que haya eclipse, se requiere también que una de las sizigias de la Luna coincida con uno de los nodos de su órbita, ó esté próxima á él; y claro está que no

siendo $346^d,62$ múltiplo de $29^d 12^h 44^m 2^s, 9$, que dura una lunación (núm. 291), dicho periodo no dá por sí solo ningún resultado satisfactorio. Pero si se multiplican $346^d, 62$ por 19, y $29^d 12^h 44^m 2^s, 9$ por 223, se encuentra para el primer producto el número $6.585^d, 78$, y para el segundo $6.585^d, 32$. Por lo tanto en un periodo de $6.585^d, 50$ los eclipses se reproducen en el mismo orden con que tuvieron lugar en un periodo anterior de igual duración, y en el mismo orden se reproducirán en los periodos siguientes. Anotando, pues, todos los eclipses que tengan lugar en uno de estos periodos, se pueden predecir los que ocurrirán en periodos futuros de igual duración. Este periodo de 223 lunaciones, fué el que descubrieron los Caldeos por la observación de los eclipses, y al cual llamaron *Saros* (núm. 11). Se comprende bien que los Caldeos predijesen con relativa exactitud los eclipses de Luna y no los de Sol, puesto que, como sabemos, aquellos son visibles en todo un hemisferio, y estos solo en zonas determinadas, y los Caldeos no conocian todo nuestro globo, ni contaban con más observaciones que las realizadas en una parte limitada y pequeña de la superficie de la Tierra; no los observaban, y por tanto, no podían predecirlos.

338. LÍMITES ENTRE LOS CUALES HA DE ENCONTRARSE LA LATITUD DE LA LUNA, PARA QUE HAYA ECLIPSE DE SOL.—El periodo determinado en el número anterior puede decirse que es una primera aproximación en el asunto que dilucidamos, el cual ha sido llevado por los cálculos modernos á un grado tal de precisión y exactitud, que, si no se viese comprobado por la experiencia, no se creería. Sabido que las longitudes y latitudes de los astros para una fecha dada pueden calcularse con muchos años de anticipación, veamos cual deba ser la latitud de la Luna, para que haya eclipse de Sol.

Sea (*Fig. 176*) S el Sol, T la Tierra y L la Luna. La línea ST, que une el centro del Sol con el de la Tierra, se encuentra en el plano de la eclíptica; el plano determinado por las líneas BA y B'A es perpendicular al de la eclíptica, siendo la

línea SA la intersección de ambos planos; las líneas TB, T α y TL están en el plano BAB', y por último la Luna L está

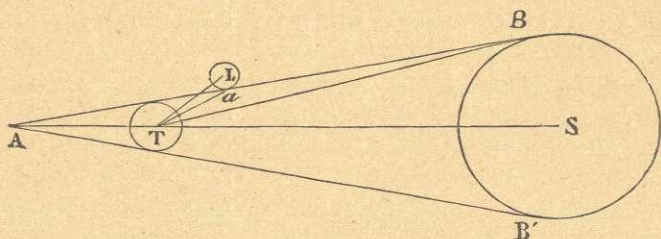


FIG. 176—LATITUD DE LA LUNA EN LOS ECLIPSES DE SOL.

tangente á la línea BA. Esto supuesto, el ángulo LTS es la latitud de la Luna (núm. 85). Ahora bien;

$$LTS = LT\alpha + \alpha TS \quad (\alpha)$$

Pero $\alpha TS = \alpha TB + BTS$; $\alpha TB = A\alpha T - \alpha BT$, por ser $A\alpha T$ exterior al triángulo $B\alpha T$, y $\alpha BT = \alpha BT$; luego, haciendo las correspondientes sustituciones, se tiene

$$LTS = LT\alpha + BTS + A\alpha T - \alpha BT \quad (\beta)$$

Nótese ahora que $LT\alpha$ es el semidiámetro lunar, cuyo valor máximo es $\frac{33' 34''}{2}$ y el mínimo $\frac{29' 26''}{2}$; BTS el semidiámetro del Sol, cuyo valor máximo es $\frac{32' 35'', 26}{2}$ y el mínimo $\frac{31' 30'', 66}{2}$; $A\alpha T$ la paralaje lunar, cuyo valor máximo es $61' 30''$ y el mínimo $53' 55''$, y por último, αBT la paralaje solar, cuyo valor máximo es $8'', 96$ y el mínimo $8'', 66$.

Sustituyendo y efectuando las operaciones indicadas en la fórmula (β), obtenemos para LTS los siguientes valores:

- 1.º $LTS = 1^\circ 34' 25''$, 67 valor máximo
- 2.º $LTS = 1^\circ 24' 14''$, 67 valor mínimo.

Este cálculo nos dá, teniendo en cuenta que hemos con-

siderado á la Luna como tangente al cono determinado por las tangentes exteriores al Sol y á la Tierra, los siguientes datos para la latitud de Luna en relación con los eclipses de Sol: llamamos λ á la latitud de la Luna.

$\lambda < 1^{\circ} 24' 14''$, 67	eclipse de Sol cierto
$\lambda > 1^{\circ} 24' 14''$, 67 y $< 1^{\circ} 34' 25''$, 67	" dudoso
$\lambda > 1^{\circ} 34' 25''$, 67	" imposible

339. LÍMITES ENTRE LOS CUALES HA DE ENCONTRARSE LA LATITUD DE LA LUNA PARA QUE ELLA QUEDE ECLIPSADA.— Un cálculo análogo al del número anterior dá para λ los siguientes valores:

$$\lambda = 1^{\circ} 3' \quad \text{valor máximo}$$

$$\lambda = 52' 18'' \quad \text{valor mínimo}$$

Por consiguiente

$\lambda < 52' 18''$	eclipse lunar cierto
$\lambda > 42' 18''$ y $< 1^{\circ} 3'$	" " dudoso
$\lambda > 1^{\circ} 3'$	" " imposible

Por último, para determinar con toda exactitud y precisión matemática la existencia de un eclipse, ya sea de Sol, ya de Luna; su magnitud, si es parcial; su duración; la zona de visibilidad sobre la Tierra, cuando se trata de los de Sol etc. etc., se necesitan cálculos más detenidos y laboriosos, que aquí no tienen lugar oportuno.

340. NÚMERO PROBABLE DE ECLIPSES: MÁXIMA DURACIÓN QUE PUEDEN ALCANZAR.—En un período de 18 años y 11 días esto es, en el período de 6.585 d, 50, que hemos calculado en el número 337, se dán por regla general 41 eclipses de Sol y 29 de Luna. Se comprenderá por qué son más frecuentes los eclipses de Sol que los de Luna, si se recuerda que los límites entre los cuales ha de estar comprendida la latitud de la Luna para que haya eclipse de Sol son mayores que los

marcados para los eclipses de Luna (números 338 y 339.) Sin embargo, en un lugar determinado de nuestro globo, por ejemplo, en Sevilla, el número de eclipses visibles de Luna es mayor que el de los de Sol, lo cual se comprenderá bien, si se recuerda que los eclipses de Luna son visibles en todo un hemisferio de la Tierra, mientras que los de Sol solo lo son en una zona limitada de dicho hemisferio. Por lo demás, en un año cualquiera no puede haber más de 7 eclipses; 4 ó 5 de Sol y 2 ó 3 de Luna; ni menos de 2; cuando solamente hay 2, estos son de Sol.

La duración de los eclipses depende de muchas causas, entre las cuales tiene una gran importancia la latitud del observador. Desde que comienza hasta que termina un eclipse total de Sol no dura más de 4^h 30^m y la totalidad 7^m 58^s (en el ecuador). Los de Luna alcanzan 4^h, y la totalidad 1^h 52^m.

341. INMERSIÓN Y EMERSIÓN: CONTACTOS: RAZÓN DE LLAMARSE *eclíptica* LA ÓRBITA DE LA TIERRA.—Antes de terminar este punto explicaremos ciertas palabras, que suelen emplearse, cuando se habla de eclipses.

Se llama en general *inmersión* al principio del eclipse, *emersión* á su fin.

Contactos son los momentos precisos en que toca el astro eclipsado con los conos de penumbra y de sombra del astro que produce el eclipse, ya sea por la parte exterior, ya por la interior. Los contactos más dignos de consideración son los que se refieren al cono de sombra, pues en este caso es cuando verdaderamente se producen los eclipses. De aquí que cuando se trata de los eclipses de Sol pueda también decirse que contactos son los momentos precisos en que aparentemente toca el borde del disco lunar con el disco del Sol. Los contactos son *dos externos* y *dos internos*. Los *externos* tienen lugar en los momentos precisos de comenzar y terminar el eclipse: marcan, pues, la duración exacta del eclipse. Los *internos* tienen lugar principalmente en los eclipses totales, y en los momentos precisos de comenzar y terminar *la totalidad*: marcan por consiguiente la duración exacta de la totalidad.

Compréndese por lo dicho la gran importancia que tiene la observación exacta de los contactos, puesto que por ellos se puede comprobar, si los cálculos hechos anteriormente son, ó nó, matemáticamente exactos.

Se habrá notado, al leer las nociones expuestas sobre los eclipses, que la Luna ha de estar en el plano de la órbita de la Tierra, ó próxima á él, para que dichos fenómenos se realizen; si no se ha hecho reflexión sobre este punto, obsérvese que, como tantas veces hemos repetido, un eclipse de Sol, ó de Luna, no puede darse, si esta no se encuentra en uno de sus nodos, ó próxima á él, y como los nodos lunares son los puntos en que la órbita de la Luna corta á la órbita de la Tierra, es claro que, al darse un eclipse, la Luna está en el plano de la órbita de la Tierra, ó próxima á él. Por esta razón se ha designado con el nombre de *eclíptica* la órbita de la Tierra.

§ IV.— *Un triunfo de la Religión Católica en el campo de la Ciencia Astronómica.*

342. OBJETO DE ESTE PÁRRAFO.— Aunque nuestro libro no tiene el carácter *apologético*, sin embargo, antes de pasar de este artículo, á la manera que el explorador de regiones auríferas no puede pasar por un punto, sin recoger las pepitas de oro, que á su paso encuentra, nos ha parecido muy oportuno hacer algunas consideraciones sobre un hecho que nuestra bendita Religión cuenta en su favor, y que no puede explicarse sin la intervención de Dios Nuestro Señor.

343. TINIEBLAS QUE SE EXTENDIERON SOBRE LA TIERRA EN LA CRUCIFIXIÓN DE NUESTRO SEÑOR JESUCRISTO.— Ante todo comencemos por consignar el hecho. Dice así el Apóstol y Evangelista San Mateo: “*Mas desde la hora de sexta hubo tinieblas sobre toda la Tierra hasta la hora de nona.*” (1)

(1) A sexta autem hora tenebrae factae sunt super universam terram usque ad horam nonam. *Math. cap. XXVII, ver. 45.*

Este hecho que, pensando en católico, basta que esté narrado por San Mateo, para que de ninguna manera pueda ser falso, cuenta además en su favor otros testimonios, entre los cuales mencionaremos: el de S. Dionisio Areopagita, quien, todavía gentil, lo presencié en Heliópolis, como él mismo lo asegura en su séptima carta dirigida á Policarpo (1); el de Flegon, también gentil, liberto del Emperador Adriano y escritor de las Olimpiadas, quien lo consignó en sus escritos (2), y el de Tertuliano, quien en su Apologético arguye á los Romanos y les dice que tienen el hecho narrado

(1) Hé aquí las palabras de S. Dionisio: «Eramus una ambo et stabamus ad Heliopolin ac cernebamus, nec opinato, cum luna se soli objiciebat (neque enim conjunctionis tempus erat) rursumque cum eadem ab hora nona ad vesperum se mediae solis lineae praeter naturae ordinem opponebat. Redige autem etiam aliquid aliud ei (Apollophani) in memoriam: scit enim etiam objectum ipsum a nobis visum esse oriri ab ortu solis, et ad solis extremum pervenire, deinde evanescere. Rursumque non ab eadem parte solis et objectum et recessum evenire, sed ab ea quae ut ita dicam, ex diametro erat contraria.» *Edición del benedictino Joaquín Perionio*, pág. 352 (1526).

En este caso es cuando se dice que exclamó S. Dionisio: «O la máquina del mundo se desquicia ó padece su Hacedor,» aunque según otros sus palabras fueron: «Deus ignotus in carne patitur, ideoque universum hisce tenebris obscuratur et concutitur.» Así se comprende que, al predicar San Pablo en el Areopago de Atenas que el Dios desconocido era Nuestro Señor Jesucristo en cuya muerte se había obscurecido el Sol, se convirtiese Dionisio al Cristianismo. *Act. Apost. Capítulo XVIII.*

(2) Hé aquí las palabras de Flegon, según cuenta Eusebio de Cesarea en su *Crónica* al año 33 de Nuestro Señor Jesucristo: «Scripsit vero super his et Phlegon, qui Olympiadarum egregius supputator est, in XIV libro ita dicens: Quarto autem anno 202 Olympiadis, magna et excellens inter omnes quae ante eam acciderant, defectio solis est facta. Dies hora sexta in tenebrosam noctem versus, ut stellae coelo visae sint, terraeque motus in Bithynia Nicaenae urbis multas aedes subverterit.» *Edición de Enrique Stephano*, folios 83 vuelto y 84 (Paris, 1518).

en sus archivos, sin que aquellos se atreviesen á negarlo. (1)

344. LAS TINIEBLAS, QUE SE EXTENDIERON POR LA TIERRA EN LA CRUCIFIJÓN DE NUESTRO SEÑOR JESUCRISTO, NO PUEDEN EXPLICARSE POR SOLAS LAS LEYES NATURALES.—Cualquiera que sea la opinión que se adopte, para explicar, supuesta la intervención divina, la existencia de las tinieblas, de que tratamos, es sin embargo incontestable que no pueden explicarse, limitándose únicamente á las leyes naturales.

Y en efecto:

1.º *No pudieron ser producidas por un eclipse de Sol.*—La Luna se encontraba entonces en plenilunio, esto es, en oposición con el Sol, y es evidente que en esta posición de la Luna el eclipse de Sol es imposible, si se atiende únicamente á las leyes que rigen á los astros, pues como hemos dicho en el número 329 es condición necesaria, para que se produzca un eclipse de Sol, que la Luna esté en un novilunio, esto es, en conjunción con el Sol.

2.º *No pudieron ser producidas por la interposición de otro astro entre el Sol y la Tierra.*—Los astros que, según las leyes astronómicas, pueden interponerse entre el Sol y la Tierra, además de la Luna, son los planetas interiores, los cuales, como hemos dicho en el número 325, solo se proyectan como puntos negros sobre el disco solar, á causa de la pequeñez de sus diámetros aparentes, y sabido es que dentro de las leyes actuales que rigen los movimientos de los astros, ninguno más que los mencionados, pueden interponerse entre el Sol y la Tierra.

3.º *No pudieron ser producidas, porque el Sol perdiera*

(1) «Eodem momento (tempore) dies, medium orbis signante sole, subducta est. Deliquium utique putaverunt qui id quoque super Christum praedicatum non scierunt. Et tamen eum mundi casum *relatum in archivis vestris habetis.*» (*Apologeticus* cap. XXI, núm. 6, pág. 133. (Paris 1624).

su luz.—Ateniéndonos sola y exclusivamente á las leyes naturales es imposible que el Sol dejase de enviar sus rayos de luz á la Tierra, porque imposible es que el Sol se apagase en un momento dado y adquiriese nuevamente su luz, quedando apagado durante tres horas. Además, el Sol no podía, sin perder su luz, dejar de iluminar nuestro hemisferio, pues las tinieblas comenzaron á las doce y terminaron á las tres de la tarde, horas en que el Sol está sobre nuestro hemisferio.

4.º *No pudieron ser producidas, porque en la Tierra se levantasen densas y persistentes nubes.*—Las nubes que con arreglo á las leyes físicas se producen en nuestro globo, nunca son tan densas que conviertan en tinieblas la luz del día. Además, si hubieran sido nubes ordinarias las que privaron á la Tierra de la luz del Sol, claro está que también hubieran impedido que se viesen brillar las estrellas en la bóveda celeste, y en aquellas circunstancias las estrellas aparecieron, como testifica Flegon (1). Por otra parte, el fenómeno no hubiese sido entonces tan insólito, que nunca habría sido visto, ni por último el mismo Flegon le hubiera llamado "*defectio solis.*"

Luego hay necesidad de admitir que para la producción de estas tinieblas hubo de intervenir un Ser en cuyas manos está el gobierno de todos los seres, y cuyo Poder se extiende sobre toda la Creación y sobre todas sus leyes, el cual Ser no es otro que el Padre Eterno, Dios Nuestro Señor, quien cumpliendo en la muerte de Nuestro Señor Jesucristo la profecía que en tiempos anteriores había hecho en su Nombre el profeta Amós (2), testificó, como en otro Tabor, que el que moría por redimir del pecado y del demonio al humano linaje, era al mismo tiempo que hombre verdadero, su Hijo muy amado, su Unigénito, el Divino Verbo, quien con su Eterno Padre y el Espíritu Santo, son una sola, divina y simplicísima Esencia, subsistiendo en tres Personas realmente distintas, á quien sean dados honor y gloria por los siglos de los siglos.

(1) *Stellae coelo visae sunt* (núm. 343 nota 3.ª)

(2) *Occidet sol in meridie* (cap. 8 vers. 9.)

345. EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO DE LAS TINIEBLAS SUPUESTA LA INTERVENCIÓN DIVINA.—Supuesta la intervención divina en la producción de las tinieblas que se extendieron por la Tierra en la crucifixión de Nuestro Señor Jesucristo, los Santos Padres y los intérpretes de las Sagradas Escrituras han tratado de explicar este fenómeno, ya en el sentido literal, ya en el espiritual: sus interpretaciones pueden verse en los expositores Sagrados. Nosotros mencionaremos aquí únicamente la narración que hizo S. Dionisio del fenómeno, y que ya hemos citado.

Según esta narración, la Luna que se hallaba en oposición con el Sol, obedeció á la voz de Dios, recorrió la bóveda celeste, se interpuso entre la Tierra y el Sol, y, en virtud del mandato divino, privó á aquella durante tres horas de los rayos de éste; y luego, cumplida su misión, recorrió de nuevo la esfera celeste y ocupó el lugar que, según las leyes de la gravitación, le correspondía, si durante las tres horas que permaneció delante del Sol, hubiese seguido su curso alrededor de la Tierra.

Y no se nos venga con que las dimensiones, que le corresponden á la sombra de la Luna sobre la Tierra, son más ó menos extensas; ni con perturbaciones astronómicas, que se hubieran producido, si la Luna hubiese faltado de su lugar oportuno; ni con ninguna otra cavilación, ó argumento más ó menos especioso, porque á todo contestamos de antemano que el Ser Divino, que creó los mundos con un solo acto de su voluntad, que les trazó las leyes á que habían de obedecer en sus revoluciones, y que quiso en este caso privar á la Tierra de la luz del Sol, hizo todos los milagros que fueron necesarios, para que se cumpliese al pié de la letra su Santísima Voluntad.

CAPÍTULO V

PLANETAS INTERIORES

Estudiado en los tres capítulos anteriores lo concerniente á la Tierra y á la Luna, pasamos á dar algunas nociones sobre los demás planetas y satélites del sistema solar, limitándonos en este capítulo á los planetas interiores, que, como hemos dicho en el número 190, son aquellos, cuyas órbitas están comprendidas dentro de la órbita de la Tierra.

ARTÍCULO I.

MOVIMIENTOS DE LOS PLANETAS INTERIORES.

346. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS PLANETAS INTERIORES.—Como ya indicábamos en el número 105, los planetas interiores participan del movimiento diurno de la esfera celeste y además cambian de posición con relación á las estrellas en virtud de sus movimientos propios. De aquí que puedan clasificarse sus movimientos en *aparentes* y *verdaderos*.

§ I.—*Movimientos aparentes de los planetas interiores.*

347. MOVIMIENTO APARENTE DIURNO.—En el movimiento aparente de la esfera celeste alrededor de la Tierra los planetas interiores se diferencian muy poco de las estrellas. Salen, como ellas, por el Oriente, ascienden gradualmente, alcanzan el meridiano, y descienden, desapareciendo por

último bajo el horizonte por el Occidente. Sin embargo, cambian de posición con relación á ellas, y sus coordenadas ecuatoriales y eclípticas varían constantemente.

348. ESTACIONES Y RETROGRADACIONES DE LOS PLANETAS INTERIORES: SU EXPLICACIÓN.—Hemos indicado en el número 193 que, al determinar la trayectoria que en virtud de sus movimientos propios describe un planeta en la esfera celeste al través de las constelaciones, se notan algunas irregularidades. Sucede en efecto que el planeta se mueve unas veces con *movimiento directo*; otras con *movimiento retrógrado*, quedando en ocasiones *estacionario*; ó lo que es lo mismo, que unas veces la longitud del planeta *aumenta*, otras *disminuye* y otras en fin *ni aumenta, ni disminuye*. Vamos á explicar, siquiera sea ligeramente, estas apariencias.

Sea T (Fig. 177) la Tierra, y la circunferencia en que se encuentra la eclíptica; V Venus y la circunferencia $VV_1V_2V_3$ su órbita; S el Sol, y V^IV^II la proyección de un arco de la eclíptica en la esfera celeste. Aunque los dos planetas T y V se mueven en un mismo plano y con velocidades diferentes, supondremos, sin embargo, para más facilidad que ambas órbitas se encuentran en el mismo plano; que la Tierra está inmóvil, y por tanto, que Venus se mueve con una velocidad igual á la diferencia que existe entre su velocidad y la de la Tierra.

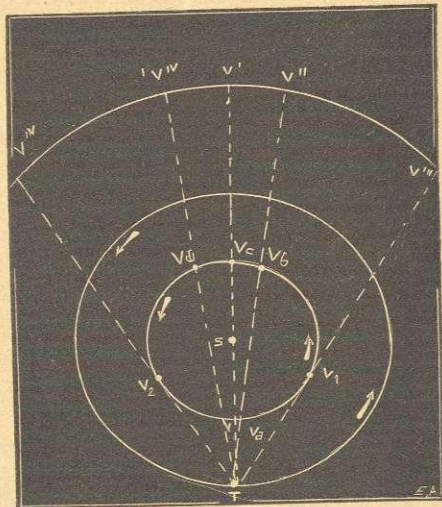


FIG. 177.—EXPLICACIÓN DE LAS ESTACIONES Y RETROGRADACIONES DE LOS PLANETAS INTERIORES.

Esto supuesto, se vé fácilmente que, cuando Venus está

en V , el habitante de la Tierra lo proyectará en V' , cuando esté en V_a en V'' y cuando en V_1 en V''' , apareciendo su movimiento como *retrógrado* desde V_a hasta V_1 . En este punto, que es el de su *máxima elongación occidental*, aparece moviéndose según la tangente á su órbita en dicho punto, y por consiguiente su longitud ni aumenta, ni disminuye, apareciendo por tanto *estacionario*. A partir de V_1 se proyecta sucesivamente desde V''' hasta V'' , proyectándose en este último punto al llegar á V_b , y así continúa proyectándose en V' , V^{IV} y V^V , al ocupar en su órbita las posiciones V_c , V_d y V_2 . El movimiento de Venus aparece, pues, *directo*, esto es, su longitud aumenta constantemente, al recorrer la parte de su órbita $V_1 V_b \dots V_2$. En V_2 , que es el punto de su *máxima elongación oriental*, aparece nuevamente *estacionario*. Por último, á partir de V_2 el movimiento de Venus aparece de nuevo *retrógrado* hasta llegar á V , donde lo tomamos.

Resulta por consiguiente que, siguiendo la dirección de las flechas, el planeta Venus se mueve aparentemente en sentido *directo* de V_1 á V_2 ; en sentido *retrógrado* de V_2 á V_1 , y por último aparece *estacionario* en V_1 y en V_2 .

Aunque de la explicación dada parece deducirse que los arcos retrógrados y directos tienen igual magnitud, no se crea que es así como sucede en la realidad; antes bien, los arcos recorridos con movimiento directo son mayores que los retrógrados, lo cual se explica suficientemente, teniendo en cuenta que hemos supuesto á la Tierra inmóvil, lo que no es exacto; y como el movimiento de la Tierra es directo, de aquí que los arcos recorridos por los planetas interiores con movimiento directo sean mayores que los recorridos con movimiento retrógrado.

Es, pues, muy fácil concebir por todo lo dicho que las *estaciones* y *retrogradaciones* de los planetas interiores no son más que *aparentes*, siendo debidas estas apariencias á que el observador se encuentra en la Tierra, esto es, en una posición exterior y excéntrica con relación á las órbitas de los mencionados planetas, y por tanto, que si dicho observador pudiera colocarse en el Sol, vería cómo los planetas interiores se mueven *siempre* y *constantemente* en sentido *directo*; ó sea, de Occidente á Oriente.

§ II.—*Movimientos verdaderos de los planetas interiores.*

349. MOVIMIENTO DE ROTACIÓN SOBRE SU EJE.—El hecho de que los planetas interiores giren sobre sí mismos es una verdad demostrada, aunque, como veremos al hablar de ellos en particular, no está todavía suficientemente determinado el tiempo que emplean en dicho movimiento de rotación. El procedimiento que se emplea, para comprobarlo, es análogo al que hemos expuesto para demostrar el movimiento de rotación del Sol y de la Luna, esto es, por las manchas que se observan en sus discos.

350. MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN ALREDEDOR DEL SOL.—El movimiento de traslación de los planetas interiores alrededor del Sol está también demostrado. Lo prueba lo que hemos dicho en el número 193 sobre las órbitas de los planetas, el modo de determinarlas y leyes á que están sujetos al describirlas, así como también el estudio que hemos hecho para explicar sus estaciones y retrogradaciones.

351. FASES DE LOS PLANETAS INTERIORES.—A causa de los movimientos de los planetas interiores y de la Tierra, obsérvase en aquellos el fenómeno de las *fases*, cuyo estudio hicimos para la Luna. Este hecho prueba que los mencionados planetas son cuerpos oscuros que reciben y reflejan la luz del Sol: puede dar una idea de este fenómeno la figura 178.



FIG. 178.—FASES DE LOS PLANETAS INTERIORES.

352. CONJUNCIÓNES DE LOS PLANETAS INTERIORES.—La máxima elongación de un planeta interior nunca puede llegar á 180° , y por consiguiente los planetas interiores nunca pueden estar en *oposición* con el Sol. Tienen en cambio dos *conjunciones*: una *superior* en V_c (Fig. 177), ó sea, cuando el Sol está en-

tre ellos y la Tierra, y otra *inferior* en V, cuando ellos están entre la Tierra y el Sol.

Relacionando ahora este punto con lo que hemos dicho sobre las estaciones y retrogradaciones de estos planetas, se vé que el movimiento propio de los planetas interiores aparece directo hácia la conjunción superior y retrógrado hácia la inferior.

353. REVOLUCIÓN SIDÉREA Y SINÓDICA DE LOS PLANETAS INTERIORES.—Se llama *revolución sidérea* en los planetas interiores el tiempo que emplean en recorrer su órbita alrededor del Sol, ó el que transcurre entre dos pasos consecutivos del planeta por delante de la misma estrella. *Revolución sinódica* el tiempo que transcurre entre dos conjunciones consecutivas del mismo nombre (ordinariamente se escoge la inferior). Cuando hablamos de la revolución sinódica de la Luna (núm. 291), indicamos por qué debía ser de más duración que la sidérea. Pues bien, aquí pudiéramos hacerlo mismo, pues vale la misma razón; pero vamos á demostrarlo ligeramente, pues nos hará falta la demostración para los planetas exteriores. Decimos, por consiguiente, que la revolución sinódica de los planetas interiores es de mayor duración que la sidérea.

Y en efecto: llamemos R á la revolución sidérea de un planeta interior; R' á su revolución sinódica y T al tiempo que emplea la Tierra en recorrer su órbita alrededor del Sol. Es evidente que el planeta en cuestión recorre en R toda su órbita, ó sean 360°, y por tanto en un día $\frac{360^\circ}{R}$. Del mismo modo la Tierra recorre en el tiempo T 360°, y en un día $\frac{360^\circ}{T}$. Recorriendo el planeta interior $\frac{360^\circ}{R}$ en un día, claro es que en R' habrá recorrido $\frac{360^\circ}{R} \times R'$: y así mismo la Tierra en R' habrá recorrido $\frac{360^\circ}{T} \times R'$. Mas sabemos que la velocidad angular de los planetas interiores es superior á la de la Tierra, y por tanto se vé claramente que, si el planeta y la Tierra parten al mismo tiempo de V y de T respectivamente (*Fig. 177*), dicho planeta interior volverá á estar en V, antes que la Tierra llegue á T. El planeta empieza nuevamen-

te á recorrer su órbita hasta que al alcanzar á la Tierra hay otra conjunción inferior. Se vé por consiguiente con toda claridad que

$$\frac{360^\circ}{R} \times R' = 360^\circ + \left(\frac{360^\circ}{T} \times R' \right)$$

y tambien

$$\frac{360^\circ \times R'}{R} = 360^\circ + \frac{360^\circ \times R'}{T}$$

Si ahora dividimos todos los miembros de la anterior ecuación por $360^\circ R'$, se tiene

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{T} \quad (\alpha)$$

en cuya fórmula se puede obtener el valor de R ó R' , conociendo los demás. Para más facilidad, vamos á desarrollar esta fórmula por completo. Y así, trasponiendo el término $\frac{1}{T}$, se obtiene

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{T} = \frac{1}{R'}$$

y multiplicando por R' los dos miembros de la ecuación anterior

$$R' \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{T} \right) = 1$$

y reduciendo á un común denominador los dos quebrados

$$R' \left(\frac{T}{RT} - \frac{R}{RT} \right) = 1$$

y efectuando la resta

$$R' \times \frac{T - R}{RT} = 1$$

y dividiendo ambos miembros por $\frac{T - R}{RT}$

$$R' = \frac{1}{\frac{T - R}{RT}}$$

y efectuando la división del segundo miembro

$$R' = \frac{RT}{T - R}, \quad (\beta)$$

fórmula que nos dá el valor de la revolución sinódica de un planeta

interior en función de su revolución sidérea y de la revolución de la Tierra. Aplicándola, por ej., á Venus se convierte en

$$R' = \frac{224,70 \times 365,25}{365,25 - 224,70}$$

de donde

$$R' = 583 \text{ d},932$$

por lo cual se vé claramente que la revolución sinódica de los planetas interiores es mayor que su revolución sidérea.

ARTICULO II.

MONOGRAFÍA DE MERCURIO.

354. ASPECTO DE MERCURIO Á LA SIMPLE VISTA Y CON LOS ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.—Por su proximidad al Sol, en cuyos resplandores está casi siempre envuelto, Mercurio puede observarse pocas veces á la simple vista. Puede, sin embargo, distinguirse en sus mayores elongaciones, por la tarde al Occidente después de haberse puesto el Sol y por la mañana al Oriente antes de la salida del luminar del día. En ambos casos aparece Mercurio como una estrella de luz viva, brillando á veces más que Sirio, sobre el fondo del

Cielo inflamado por los últimos resplandores del Sol ó matizado con los hermosos tintes de la aurora.

Observado con poderosos instrumentos se notan sus fases (*Fig. 179*) y ciertas bandas ó manchas oscuras de tan rápida formación que pre-

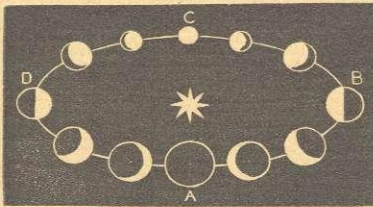


FIG. 179.—FASES DE MERCURIO.

sentan gran semejanza y analogía con las nubes que se forman en nuestra atmósfera.

355. ELEMENTOS DE MERCURIO Y DE SU ÓRBITA.—Explicados ya los términos que se emplean para designar los diversos elementos de los planetas, y teniendo en cuenta que su determinación exige conocimientos superiores que no son de este lugar, no hacemos aquí más que sintetizar en el si-

guiente cuadro los principales elementos pertenecientes á Mercurio. Examinando dicho cuadro y comparando sus datos con los que damos para los demás planetas se observarán tres particularidades de Mercurio: 1.^a, es el planeta más próximo al Sol; 2.^a, es el más pequeño de los planetas primarios; 3.^a, es el que tiene más densidad. (1)

Principales elementos de Mercurio.		
Distancia media al Sol.	Unidad: la de la Tierra	0,3870987
	En kilómetros	57'875.650,54
Diámetro ecuatorial.	Aparente, visto desde la Tierra	De 4",5 á 12",9
	A la distancia 1.	6",61
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	0,373
	En kilómetros	4.758,28
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	0,139129
	En kilómetros cuadrados.	60'967.198,578
Volúmen.	Unidad: el de la Tierra	0,052
	En millones de kilómetros cúbicos	56.329,52
Masa.	Unidad: la del Sol	1/5'310.000
	Unidad: la de la Tierra	0,061
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	1,173
	Unidad: la del agua	6,45
Valor de la atracción.	En el ecuador: unidad: el de la Tierra.	0,439
Epoca: 1 de Enero 1850.	Longitud del nodo ascendente.	46°33.9."
	> del perihelio	75. 7.14
	> media de la época	327.15.20
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica.	7. 0. 8
	Excentricidad de la órbita	0,2056048
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	0,240843
	En días medios	87d,969258
Duración de la revolución sinódica		115 d ,878
Duración de la rotación.		87 d ,969258?
Movimiento medio diurno		4",5'2",4194

(1) Advertimos desde luego que los datos fundamentales de este cuadro, así como los de los demás planetas, están tomados del *Annuaire du Bureau des Longitudes* (Paris, 1900).

356. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MERCURIO. — No está muy adelantado el estudio físico-químico de Mercurio, á causa, como hemos dicho antes, de estar casi siempre envuelto en los resplandores del Sol, pues sus mayores elongaciones alcanzan solamente unos 28°. Asegúrase, sin embargo, por los Astrónomos que este planeta tiene montes, mares y atmósfera. Así parecen comprobarlo las siguientes observaciones: 1.^a, cuando el planeta está en forma de creciente, el cuerno correspondiente al hemisferio Sur, se presenta á veces truncado, lo cual parece indicar que alguna elevada montaña interpuesta detiene los rayos del Sol; 2.^a, las manchas ó bandas de que hemos hablado (núm. 354), las cuales parecen nubes flotando en una atmósfera; 3.^a, la línea de separación entre la parte iluminada y la oscura, cuando el planeta se presenta como un cuadrante, no es recta, sino que está formada por dentellones y sinuosidades, que parecen pertenecer á alguna cordillera: tampoco está la mencionada línea perfectamente definida, como la de la Luna, antes bien se pasa de la parte iluminada á la oscura por una zona en que la luz se debilita gradualmente, cual si fuese luz difusa; fenómeno análogo al que se observa en nuestra atmósfera.

El estudio del espectro de Mercurio, aunque difícil por la razón ya expuesta, ha sido sin embargo hecho, notándose que presenta los caracteres del solar y unas bandas de absorción muy débiles en las regiones roja y amarilla, lo cual prueba que la luz de Mercurio es la misma del Sol, que él nos refleja, después de absorber su atmósfera algunos rayos rojos y amarillos. “La observación espectral de este planeta, dice Gelion Towne, proseguida durante muchos años en el observatorio de Potsdam por M. Müller, prueba que Mercurio ofrece una gran analogía con la Luna, como lo había sospechado Zollner: es necesario, pues, renunciar á dotar este planeta de una espesa atmósfera.” (1).

Tampoco está perfectamente determinado por los Astró-

(1) *Astronomie, Astrophysique... pratiques*: tom. 2.º pág. 40.

nomos el tiempo que emplea Mercurio en su movimiento de rotación. Para unos emplea $24^h 5^m 28^s$, para otros $87^d, 969$, esto es, un tiempo igual á su revolución alrededor del Sol; fenómeno que ya hemos observado en la Luna. No hay para que decir que, al querer explicar las estaciones, los días y las noches, los cambios de temperatura, etc., mercuriales, esta explicación ha de hacerse con arreglo á la hipótesis que se adopte sobre la duración del movimiento de rotación del planeta, y por tanto no sería difícil encontrar explicaciones completamente distintas.

ARTÍCULO III.

MONOGRAFÍA DE VENUS.

357. ASPECTO DE VENUS Á LA SIMPLE VISTA Y CON LOS ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.—Venus es el planeta más brillante de todos. A pesar de ser su observación á la simple vista mucho más fácil que la de Mercurio, sin embargo no puede distinguirse sobre la esfera celeste más que al Occidente por la tarde y á primeras horas de la noche, ó al Oriente por la madrugada y antes de salir el Sol (1). Ya se observe en uno ó en otro caso, siempre se distingue por su gran brillantez hasta el punto de que en algunas ocasiones háse hecho sensible, aunque muy debilmente, la sombra que proyecta un cuerpo expuesto á su luz.

Observado con anteojos y telescopiosse notan sus fases y ciertas manchas oscuras, que presentan más analogía aún que las de Mercurio con las nubes de nuestra atmósfera. La figura 180

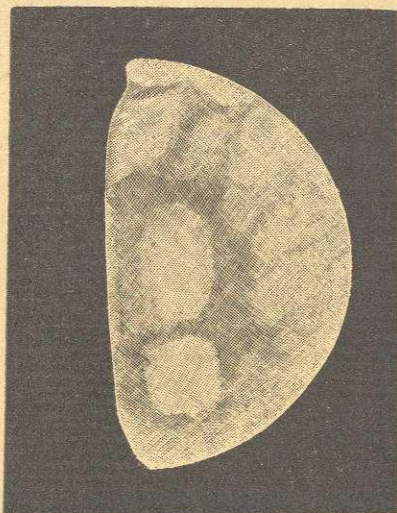


FIG. 180.—ASPECTO TELESCÓPICO DE VENUS.

(1) Nuestros labradóres lo llaman *lucero del alba* en este último caso.

muestra el aspecto telescópico de Venus, dibujado por L. Rudaux.

358. ELEMENTOS DE VENUS Y DE SU ÓRBITA.—Por la razón alegada en el número 355 no hacemos más que sintetizar en el cuadro siguiente los principales elementos de Venus y de su órbita alrededor del Sol.

Principales elementos de Venus.		
Distancia media al Sol.	Unidad: la de la Tierra	0,7233322
	En kilómetros	108'138.901,79
Diámetro ecuatorial.	Aparente, visto desde la Tierra	De 9'',5 á 62''
	A la distancia 1	17'',55
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	0,999
	En kilómetros	12.744,029
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	0,998
	En kilómetros cuadrados	509'061.836
Volumen.	Unidad: el de la Tierra	0,975
	En millones de kilómetros cúbicos	1'056.178,5
Masa.	Unidad: la del Sol	1/412.150
	Unidad: la de la Tierra	0,787
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	0,807
	Unidad: la del agua	4,44
Valor de la atracción.	En el ecuador: unidad: el de la Tierra	0,802
Epoca: 1 Enero 1850	Longitud del nodo ascendente.	75.° 19.' 52."
	> del perihelio	129. 27. 15.
	> media de la época	245. 33. 15
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica	3. 23. 35.
	Excentricidad de la órbita	0,0068433
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	0,615186
	En días medios	224 ^d ,700787
Duración de la revolución sinódica		583 ^d ,932
Duración de la rotación		224 ^d ,700787?
Movimiento medio diario		1°36'7",6698

359. MEDICIÓN DE LA PARALAGE DEL SOL POR LOS PASOS DE VENUS.—Hemos indicado en el número 325 la celebridad y el interés que han despertado entre los Astrónomos los pasos de Venus sobre el disco solar. Y se comprende perfectamente el interés y entusiasmo de los Astrónomos, porque, aparte de la grata emoción que se experimenta, al contemplar los fenómenos del Universo, los pasos de Venus ofrecen ocasión oportuna para comprobar y rectificar en caso necesario el valor de la paralage del Sol, uno de los fundamentos, como ya sabemos, para conocer la escala en que Dios Nuestro Señor ha querido formar el sistema solar. Vamos á dar una ligera idea del procedimiento que se emplea para efectuar esta medición, el cual fué excogitado por el Astrónomo Halley, contemporáneo de Newton, quien bajó al sepulcro, sin tener ocasión de utilizarlo.

En la figura 181 están representados el Sol, la Tierra y

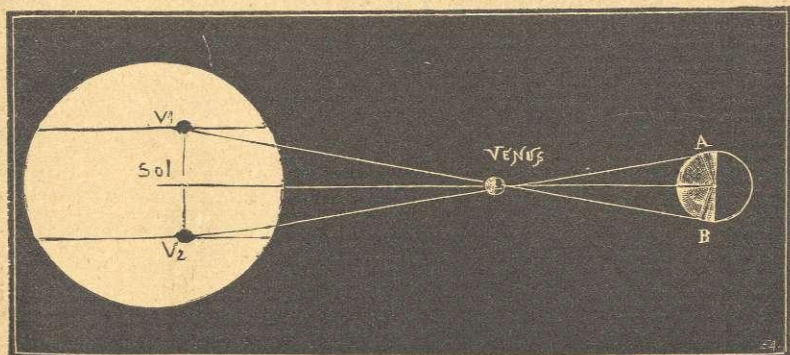


FIG. 181.—MEDICIÓN DE LA PARALAGE DEL SOL POR LOS PASOS DE VENUS.

Venus, durante el paso de este último por el disco solar. A y B representan los dos extremos del diámetro terrestre, perpendicular á la eclíptica. Es claro que, cuando el observador situado en A vea proyectarse el centro del planeta Venus en V₂, el situado en B lo verá en V₁. Se concibe con facilidad que, si el observador A se trasladase rápidamente de A á B, vería á Venus proyectarse rápida y sucesivamente

de V_2 á V_1 , recorriendo la línea $V_2 V_1$. Mas, siendo rectas las líneas AV_2 y BV_1 , es evidente que los ángulos que forman en Venus son iguales, por ser opuestos por el vértice. Por tanto, $V_1 V_2$ es á AB , como la distancia de Venus al Sol es á la distancia de Venus á la Tierra. Y, como esta última relación es próximamente igual á $\frac{2,50}{1}$ (más exacto $\frac{68}{27}$),

se tiene

$$V_1 V_2 : AB :: 2,50 : 1$$

de donde

$$V_1 V_2 = 2,50 AB,$$

lo cual nos dice que la medida angular del espacio comprendido entre V_1 y V_2 es igual á 2,50 veces el diámetro aparente de la Tierra, visto desde el Sol, esto es, á cinco veces la paralage horizontal del Sol.

Se comprende pues que, si los Astrónomos cuentan con medios para medir la distancia angular $V_1 V_2$ desde la Tierra, por este mismo hecho tendrán medida la paralage solar, no entrando en esta última, sino una quinta parte del error en que pueda incurrirse, al hacer aquella. Y como los Astrónomos cuentan con estos medios, y por cierto muy exactos, aunque nosotros no nos detengamos en exponerlos, es claro que los pasos de Venus responden admirablemente á lo que se propuso Halley, al excogitar este procedimiento. Uno de los principales fundamentos en que se apoyaron los Astrónomos, para modificar la constante de la paralage del Sol, como hemos dicho en el número 165, fué la observación del paso de Venus, ocurrido en 1882.

Por lo demás los Astrónomos del siglo XX no tienen necesidad de preocuparse con la observación de estos *pasos de Venus*, pues, dada la ley que los rige, el primero, que podrán observar los habitantes de la Tierra, no ocurrirá hasta el 8 de Junio del año 2.004.

360. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE VENUS.—A pesar de que Venus se encuentra en condiciones más favorables para su observación que Mercurio, pues alcanza 40°

en sus máximas elongaciones, sin embargo su estudio físico-químico no está muy adelantado. Asegúrase que posee una atmósfera, que hay montes elevados en su superficie, y que se encuentra en él agua en abundancia. Los fundamentos en que estas afirmaciones se basan son casi idénticos á los ya indicados para Mercurio (núm. 356), aunque mucho mejor comprobados. Tales son las manchas que se observan en su disco; los puntos muy brillantes que se notan en su limbo, algunos de los cuales, los que ocupan los cuernos de las fases, se consideran como inmensos glaciales; la difusión de la luz, y por último el estudio de su espectro.

Este último estudio comprueba que la luz con que brilla el planeta es reflejada del Sol, y que su atmósfera tiene una composición análoga á la de la Tierra, conteniendo grandes cantidades de vapor de agua.

El tiempo que emplea Venus en su rotación tampoco está suficientemente determinado. El Jesuita P. de Vico le asignó $23^h 12^m 21^s$, 93, y este número, aunque algo modificado, pero poco, siguió adoptándose por los Astrónomos posteriores, hasta que no ha mucho tiempo M. Schiaparelli, ha creído deber asignarle una duración igual á la que emplea este planeta en su revolución alrededor del Sol (224^d , 70). La cuestión se discute actualmente entre los Astrónomos y claro está que hay necesidad de esperar á que nuevas y fundadas observaciones la diriman. Lo mismo que decíamos de Mercurio, hemos de decir aquí: la explicación que quiera darse de las estaciones, de los días y noches, de los cambios de temperatura, etc., sobre Venus depende de la duración que se adopte para la rotación del planeta.

CAPÍTULO VI

PLANETAS EXTERIORES

Dadas algunas nociones sobre los planetas interiores en el capítulo anterior, las daremos en este, siguiendo nuestro plan, sobre los exteriores, ó sean aquellos planetas, cuyas órbitas (núm. 190) comprenden la de la Tierra: algo diremos también sobre los satélites, que los acompañan en sus revoluciones alrededor del Sol.

ARTÍCULO I.

MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS EXTERIORES.

361. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS PLANETAS EXTERIORES.—De la misma manera que los planetas interiores, los exteriores participan del movimiento diurno de la esfera celeste y cambian además de posición con relación á las estrellas en virtud de sus movimientos propios. Pueden, pues, clasificarse también los movimientos de los planetas exteriores en *aparentes* y *verdaderos*.

§ I.—*Movimientos aparentes de los planetas exteriores.*

362. MOVIMIENTO APARENTE DIURNO.—En el movimiento aparente de la esfera celeste alrededor de la Tierra, los planetas exteriores se diferencian de las estrellas, menos

todavía que los interiores, pues sus cambios de posición al través de las constelaciones son sumamente lentos. Por tanto, es necesario que la observación dure algunos días, para poder comprobar sus cambios de posición con relación á las estrellas, siendo estos cambios tanto más lentos, cuanto más exterior es el planeta.

363. ESTACIONES Y RETROGRADACIONES DE LOS PLANETAS EXTERIORES: SU EXPLICACIÓN.—Supuestas las nociones dadas en los números 193 y 348, vamos á explicar ligeramente las estaciones y retrogradaciones aparentes de los planetas exteriores.

Sea S (*Fig. 182*) el Sol; T la Tierra, y $TT_1\dots T_7$ la eclíptica; M Marte y la circunferencia en que se encuentra su órbita, y por último $M''M''M''M''M''M''$ la proyección de un arco de la órbita de Marte sobre la esfera celeste. Siendo la velocidad de la Tierra alrededor del Sol superior á la de Marte podemos suponer á este inmóvil y á la Tierra girando con una velocidad igual á la diferencia que existe entre la suya y la de Marte. Esto supuesto, cuando la Tierra esté en T , el planeta Marte se proyectará en M' , cuando esté en T_1 , en M'' y cuando en T_2 , en M''' . Como se vé, hasta llegar la Tie-

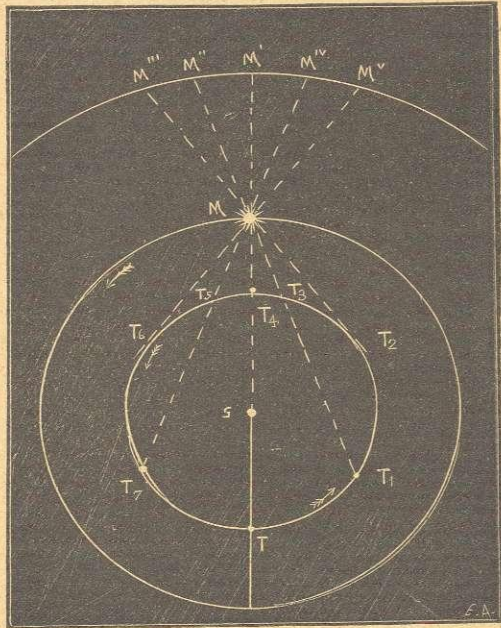


FIG. 182.—EXPLICACIÓN DE LAS ESTACIONES Y RETROGRADACIONES DE LOS PLANETAS EXTERIORES.

rra á T_1 , el movimiento de Marte ha sido de Occidente á Oriente, esto es, *directo*. Al estar la Tierra en T_2 , el planeta parecerá moverse en dirección de la línea MT_2 , esto es, aparecerá *estacionario*. Al partir la Tierra de T_2 , dirigiéndose á T_3 , el planeta parecerá moverse de M''' á M'' , llegando á este último punto, cuando la Tierra esté en T_3 , y así, á medida que la Tierra ocupe las posiciones T_4 , T_5 , T_6 , Marte se proyectará en M' , M^{IV} y M^V . Se vé, pues, que mientras la Tierra ha recorrido el arco $T_2 T_6$ de la eclíptica, Marte ha recorrido aparentemente con movimiento *retrógrado* el arco $M'''M^V$, quedando nuevamente *estacionario* en M^V por encontrarse la Tierra en la línea MT_6 , tangente á la eclíptica. Desde este nuevo punto la Tierra sigue hácia T_7 y Marte hácia M^{IV} , moviéndose por consiguiente con movimiento *directo*, hasta que la Tierra llega á T y el planeta á M' , donde los tomamos.

Resulta por consiguiente que, siguiendo la dirección de las flechas, Marte se mueve con movimiento *directo* durante el tiempo que emplea la Tierra en recorrer el arco de la eclíptica comprendido entre T_6 y T_1 ; con movimiento *retrógrado*, mientras la Tierra vá de T_2 á T_6 , y por último que aparece *estacionario*, cuando la Tierra está en T_2 y T_6 . Así como lo hemos advertido para los planetas interiores, los arcos que recorren los planetas exteriores sobre la esfera celeste con movimiento directo son mayores, que los recorridos con movimiento retrógrado. Si otra cosa aparece de la explicación anterior se debe á que hemos considerado inmóvil á Marte, lo cual no es exacto, pues ya sabemos que se mueve constantemente y con movimiento directo.

Como también lo hemos hecho observar para los planetas interiores, las *estaciones* y *retrogradaciones* de los planetas exteriores no son más que *aparentes*, las cuales se deben á que el observador vé á dichos planetas desde la Tierra, esto es, desde una posición interior, pero excéntrica con relación á las órbitas de los mencionados planetas; por lo cual, si el observador pudiera trasladarse al Sol, vería que los planetas exteriores se mueven *siempre* con movimiento *directo* alrededor del Sol, ó sea, de Occidente á Oriente.

§ II.—*Movimientos verdaderos de los planetas exteriores.*

364. MOVIMIENTO DE ROTACIÓN SOBRE SU EJE.—Los planetas exteriores están dotados, como los interiores, del movimiento de rotación sobre sí mismos. Se comprueba por el procedimiento ya expuesto, ó sea, por las manchas que se observan en sus discos. No está sin embargo determinada la duración de la rotación de Urano, ni la de Neptuno.

365. MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN ALREDEDOR DEL SOL.—El movimiento de traslación de los planetas exteriores alrededor del Sol, está también demostrado. Comprueban esta afirmación lo que hemos dicho en el número 193 sobre las órbitas de los planetas, modo de determinarlas y leyes á que están sujetos al describirlas, y además el estudio que hemos hecho de sus estaciones y retrogradaciones.

366. FASES DE LOS PLANETAS EXTERIORES.—Como los planetas exteriores reciben y reflejan la luz del Sol, parece que debían presentar el fenómeno de las *fases*. Sin embargo, si se tiene en cuenta la gran distancia que los separa de la Tierra, y que su posición es exterior á esta, se comprenderá por qué aparecen siempre con todo su disco iluminado. Marte, por ser el más próximo á la Tierra, presenta algo de este fenómeno de las fases, aunque con la particularidad de no quedar en la oscuridad sino una parte insignificante de su disco visible desde la Tierra, la cual nunca alcanza más de $\frac{1}{3}$ de todo el mencionado disco.

367. CONJUNCIÓN Y OPOSICIÓN DE LOS PLANETAS EXTERIORES: CUADRATURAS.—Los planetas exteriores dejan el Sol entre ellos y la Tierra y la Tierra entre ellos y el Sol, como se comprueba inspeccionando con detención la figura 182. Así es que estos planetas pueden estar en *conjunción*, en *oposición* y en *cuadratura* (núms. 193 y 85).

Relacionando este punto con lo que hemos dicho sobre las estaciones y retrogradaciones de estos planetas, se vé fácilmente que su movimiento propio aparece *directo* en las

inmediaciones de una conjunción y *retrogrado* cuando están próximos á una oposición.

368. REVOLUCIÓN SIDÉREA Y SINÓDICA DE LOS PLANETAS EXTERIORES.—La *revolución sidérea* es para los planetas exteriores lo mismo que hemos dicho para los interiores, esto es, el tiempo que emplean en recorrer su órbita alrededor del Sol. La *revolución sinódica* es el tiempo que transcurre entre dos oposiciones consecutivas.

La revolución sinódica es más corta que la sidérea para los planetas exteriores, excepción hecha de Marte, que la tiene más larga que la sidérea.

Pruébense ambas afirmaciones por el cálculo ya empleado para los planetas interiores (núm. 353), advirtiéndose que allí el planeta interior se mueve con más velocidad que la Tierra, y aquí la Tierra se mueve con más velocidad que los planetas exteriores. Este cálculo, aplicado al caso de que tratamos, dá por último resultado la siguiente fórmula:

$$R' = \frac{RT}{R - T}$$

en la cual R' es la revolución sinódica del planeta; R su revolución sidérea, y T el tiempo que emplea la Tierra en su revolución alrededor del Sol.

Haciendo la aplicación de la anterior fórmula al planeta Marte, tenemos

$$R' = \frac{686^d, 979 \times 365^d, 25}{686, 979 - 365, 25}$$

de donde

$$R' = 779^d, 90$$

duración que es como se vé un poco más larga que la correspondiente á la revolución sidérea.

ARTÍCULO II.

MONOGRAFÍA DE MARTE.

369. ASPECTO DE MARTE Á LA SIMPLE VISTA Y CON LOS ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.—El planeta Marte puede observar-

se á la simple vista á cualquier hora de la noche, supuesto, claro está, que se encuentre sobre el horizonte del observador. Se distingue facilmente de las estrellas por la tranquilidad de su luz y su aspecto rojo. Su brillo que es mayor ó menor, según sea su distancia á la Tierra, sobrepuja en condiciones favorables al de las estrellas de 1.^a magnitud.

Cuando se observa con poderosos instrumentos se notan en su disco manchas oscuras y permanentes, dos manchas blancas y brillantes hácia los polos, y algo de sus fases. El aspecto de Marte, cuando la parte oscura de su

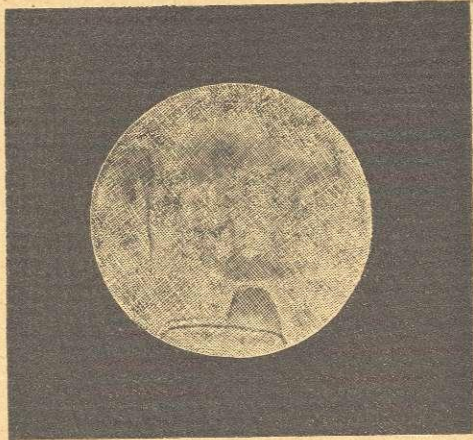


FIG. 183.—ASPECTO TELESCÓPICO DE MARTE

disco alcanza su valor máximo, es muy parecido al que presenta la Luna unos tres días antes ó después de su plenilunio, lo que comprueba lo anteriormente dicho (núm. 366). La figura 183 muestra el aspecto telescópico de Marte dibujado en el Observatorio de Juvisy (Francia) el 20 de Febrero de 1899.

370. ELEMENTOS DE MARTE Y DE SU ÓRBITA.—Al tocar este punto, procedemos respecto de los planetas exteriores, como hemos procedido respecto de los interiores: consignamos los elementos que á ellos se refieren, y los correspondientes á sus órbitas, sin entrar en los procedimientos que se emplean para determinarlos, pues, aunque algunos caben dentro de las nociones expuestas en varios lugares, otros suponen nuevos conocimientos, como ya indicábamos en el número 355, y todo ello nos obligaría á salirnos del plan que nos hemos trazado. Para calcular los valores que asignamos á las superficies de los planetas, hemos considerado á estos y á la Tierra como si fuesen esferas perfectas.

Principales elementos de Marte.

Distancia media al Sol.	Unidad: la de la Tierra	1,5236913
	En kilómetros	227'793.403,716
Diámetro ecuatorial.	Aparente, visto desde la Tierra	De 3", 5 á 25"
	A la distancia 1	9",35
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	0,528
	En kilómetros	6.735,583
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	0,278
	En kilómetros cuadrados	141'802.796
Volumen.	Unidad: el de la Tierra	0,147
	En millones de kilómetros cúbicos	159.239,22
Masa.	Unidad: la del Sol	1/3'093.500
	Unidad: la de la Tierra	0,105
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	0,711
	Unidad: la del agua	3,91
Valor de la atracción.	En el ecuador: unidad: el de la Tierra	0,376
Epoca: 1 Enero 1850	Longitud del nodo ascendente	48.º 23.' 53."
	» del perihelio	333. 17. 54.
	» media de la época	83. 40. 31.
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica	1. 51. 2.
	Excentricidad de la órbita	0,0932611
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	1,880832
	En años julianos y días medios	1año321d,729646
Duración de la revolución sinódica		2años 49d , 40
Duración de la rotación		24h 37m 23s
Movimiento medio diurno		31' 26",5184

371. MEDICIÓN DE LA PARALAGE SOLAR POR LA OBSERVACIÓN DE LAS OPOSICIONES DE MARTE.—Hemos dicho en el cuadro del número 165 que uno de los procedimientos empleados por los Astrónomos para obtener el valor de la paralage del Sol son las observaciones sobre el planeta Marte. Consiste sencillamente este procedimiento en medir la para-

lage de Marte, para lo cual puede emplearse el método ya conocido (núm. 295), y deducir del valor que se obtenga el de la paralage solar. Esta deducción puede hacerse fundándose en la relación que existe entre la distancia de Marte á la Tierra y de esta al Sol, relación que suministra con toda exactitud el cálculo para cada caso particular. Sépase únicamente que, tomando por unidad la distancia que hay de la Tierra al Sol, la de Marte á la Tierra, cuando está en oposición, es próximamente $\frac{2}{3}$, pudiendo en ocasiones ser $\frac{1}{2}$.

372. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE MARTE.—Marte es el planeta mejor conocido de todos los del sistema. Muestran las observaciones telescópicas y espectroscópicas que está dotado de una atmósfera trasparente y en la cual existe gran cantidad de vapor de agua. Nótase también con los más potentes instrumentos que la superficie del planeta está distribuida en continentes, mares é islas y que los dos polos están rodeados de hielos perpétuos, los cuales aumentan por la congelación en invierno y disminuyen por el deshielo en el verano de cada uno de los hemisferios marciales. Tan adelantado está el estudio de los pormenores de la superficie de Marte que los Astrónomos han construido globos y mapas del planeta, donde se marcan con sus respectivos nombres y grados de longitud y latitud marciales los continentes, mares, islas, estrechos, etc.

373. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LOS CANALES DE MARTE.—Una de las más notables particularidades de la superficie de Marte son ciertas estrías largas y rectilíneas, observadas por Schiaparelli, quien les dió en 1877 el nombre de *canales* (*Fig. 184*). Desde entonces los Astrónomos han observado con creciente atención y empeño el planeta Marte; y, como sucede ordinariamente en casos análogos, unos defienden la existencia de dichos canales, y otros la ponen en duda. Muchas son las

explicaciones que se han dado de estos canales por los partidarios de su existencia, contándose algunas muy peregrinas, pero creemos que de afirmar que existan, solo se puede concluir por hoy en buena lógica que los repetidos canales ponen en comunicación unos mares con otros.

El afán de estudiar á Marte creció con un nuevo descubrimiento de Schiaparelli. Observó este Astrónomo en 1881 que todos, ó la mayor parte de los canales, se presentaban *duplicados* (Fig. 185); fenómeno á que dió el nombre de *duplicación de los canales de Marte*. Claro está que si no han podido convenir los Astrónomos en afirmar la existencia de los canales, tampoco habrán convenido en la existencia de su duplicación. Creen algunos que se trata únicamente de una *ilusión óptica*, siendo notable el experimento de M. Meunier, para comprobarlo. El hecho es que hasta hoy no se ha

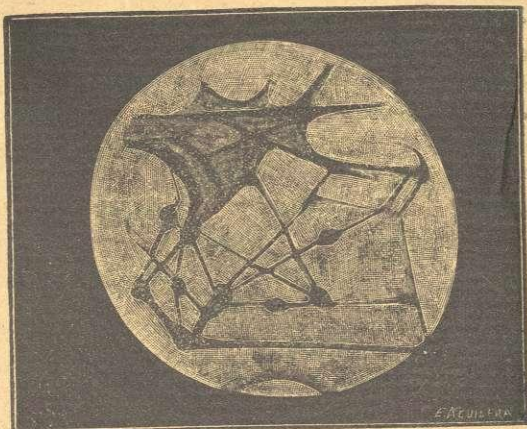


FIG. 184.—CANALES DE MARTE. DIBUJO DE SCHIAPARELLI.

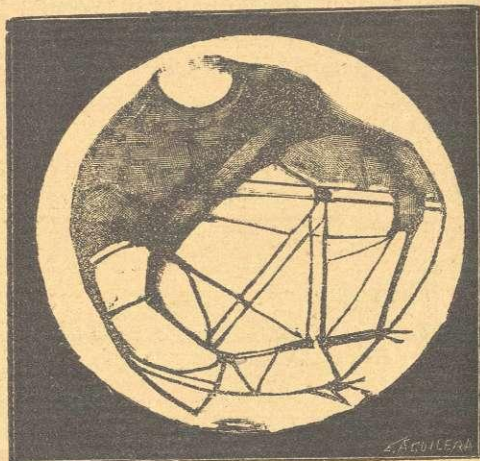


FIG. 185.—DUPLICACIÓN DE LOS CANALES DE MARTE. DIBUJO DE SCHIAPARELLI.

dado una explicación satisfactoria de la mencionada duplicación.

Por último, estudiando bien los elementos de Marte y de su órbita se deduce que los días y las noches, las estaciones, los cambios de temperatura, etc., se suceden sobre la superficie del planeta de un modo análogo, á como se suceden sobre la Tierra; varían, sin embargo, la intensidad de la luz y del calor solar, que viene á ser unas dos veces menor que en la Tierra, particularidad que se debe á que Marte se encuentra á 1'523 del Sol y la Tierra á 1'000, tomando como unidad la distancia de nuestro globo al Sol; y la duración de las estaciones, que son más largas y desiguales en Marte que en la Tierra, por emplear aquel planeta 1 año 321^d, 729 en recorrer su órbita y la Tierra solo un año.

374. SATÉLITES DE MARTE: SUS ELEMENTOS.—El planeta Marte está acompañado de dos satélites pequeños, descubiertos por Hall en 1.877 y llamados *Fobos* (la Fuga) y *Deimos* (el Terror). Ambos se mueven casi en el plano ecuatorial del planeta Marte y los elementos que más conviene conocer los dá el siguiente cuadro.

Principales elementos de los satélites de Marte.				
NOMBRES.	Distancia media á Marte.		Duración de la revolución sidérea.	Dmtro. real. — En kilómetros
	En radios marciales.	En kilómetros.		
Fobos	2,70	9.113,035	7 ^h 39 ^m 13 ^s , 9	Unos 10
Deimos	6,74	22.708,911	30. 17. 54, 9	" "

ARTÍCULO III.

MONOGRAFIA DE LOS PLANETOIDES.

375. NÚMERO DE LOS PLANETOIDES CONOCIDOS Y ZONA EN QUE SE ENCUENTRAN.— Entre las órbitas de Marte y Júpiter y en una zona de unos 300 millones de kilómetros de ancho (Fig. 186) se han descubierto hasta fines de 1899 unos 490 planetas, que han sido llamados *planetas telescópicos*, *planetoides* y *asteroides* por su excesiva pequeñez, pues el mayor, *Ceres*, mide unos 964 kilómetros de diámetro, la mayor parte no llegan á 200, y hay algunos que pudieran recorrerse en un día por un habitante de la Tierra. Cada uno tiene además de su nombre un número de orden que corresponde por convención de los Astrónomos (1), no á la fecha de su descubrimiento, sino á aquella en que fué reconocido que dicho planetoides era realmente un astro nuevo.

En el descubrimiento de estos planetoides se experimentan las ventajas de haber aplicado la fotografía al estudio de los astros de un modo sorprendente. Antes de esta aplicación era difícil demostrar que el astro observado era un nuevo asteroide, pues era necesario valerse de los caracteres que hemos indicado en el número 66, y muchos de estos planetoides no presentan diámetro aparente apreciable. Pero, aplicada la fotografía y preparado el aparato como hemos dicho en otro lugar (núm. 85), claro está que las estre-

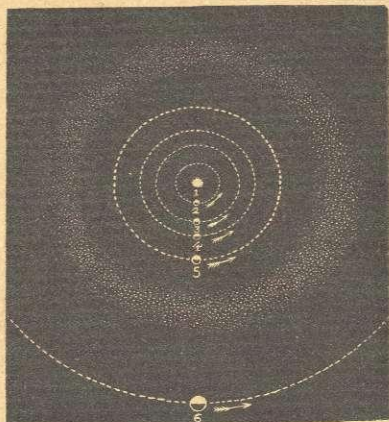


FIG. 186.—ZONA DE LOS PLANETOIDES.

(1). *Annuaire publié par le Bureau des Longitudes* (Paris, 1900).

llas aparecerán en la placa fotográfica como puntos redondos, mientras que los asteroides, á causa de sus movimientos propios al través de las constelaciones, dejarán en la misma placa un rasgo más ó menos largo, según el tiempo de la exposición, por el cual será fácil reconocerlos después en la esfera celeste.

376. PRINCIPALES ELEMENTOS DE LOS CUATRO PLANETOIDES MÁS IMPORTANTES.—Todos los planetoides recorren sus órbitas alrededor del Sol con movimiento *directo*: ninguno sobrepaja en brillo á las estrellas de 6^a magnitud, y hay muchos inferiores á las de 12.^a En el cuadro siguiente damos algunos elementos de los cuatro principales planetoides.

Principales elementos de Ceres, Palas, Juno y Vesta.				
NOMBRES	Duración de la revolución sidérea.	Distancia media al Sol.		Autor y año del descubrimiento.
		Unidad: la de la Tierra.	En kilómetros.	
1. Ceres	4 años 220 ^d 414	2,76726	413'708.192,970	Piazzi 1801
2. Palas	4 225 ,640	2,77300	414'566.328,826	Olbers 1802
3. Juno	4 130 ,988	2,66827	398'909.086,987	Harding 1804
4. Vesta	3 229 ,851	2,36162	353'064.599,164	Olbers 1807

377. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA NATURALEZA Y CONSTITUCIÓN DE LOS PLANETOIDES.—Pocos son los datos que se poseen con certeza sobre la naturaleza y constitución de los planetoides. Sus dimensiones tan pequeñas; sus formas, en algunos, irregulares, y las variaciones que muchos experimentan en su brillo son hechos que los Astrónomos interpretan, suponiendo que son restos de un planeta, ó de un anillo, que circulaba alrededor del Sol en la zona donde hoy se encuentran estos planetoides, y que, fraccionado en tiempos antiquísimos, dió lugar á que



se formasen estos planetas telescópicos, cuyo volumen total podría formar un planeta que tuviese $\frac{1}{8.000}$ del volumen de la Tierra.

ARTÍCULO IV.

MONOGRAFÍA DE JÚPITER.

378. ASPECTO DE JÚPITER Á LA SIMPLE VISTA Y CON LOS ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.—Júpiter es el mayor de los planetas y el más brillante después de Venus, á quien sobrepuja en algunos casos. Al observarlo á la simple vista, aparece como una hermosa estrella de 1.^a magnitud, distinguiéndose de estas por la tranquilidad de su luz y por su color blanco mate, aunque no tan claro como el de Venus.

Observado con los anteojos y telescopios, su disco se presenta cruzado por ciertas bandas luminosas y oscuras, que alternativamente se suceden casi paralelas á su ecuador. Nótanse también en su disco manchas de diversos aspectos, las cuales cambian de forma y de color de un modo admirable. La figura 187 muestra el aspecto telescópico de Júpiter en 1.899, dibujado por C. Flammarion.

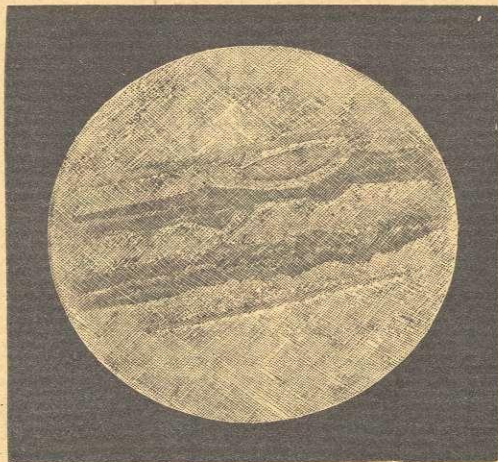


FIG. 187.—ASPECTO TELESCÓPICO DE JÚPITER.

379. ELEMENTOS DE JÚPITER Y DE SU ÓRBITA.—En el cuadro siguiente damos los principales elementos de Júpiter y de su órbita.

Principales elementos de Júpiter.

Distancia media al Sol.	Unidad: la de la Tierra	5,202800
	En kilómetros	777'823.907,542
Diámetro ecuatorial.	Aparente, visto desde la Tierra	De 30",8 á 50",7
	A la distancia 1	3'16"
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	11,061
	En kilómetros	141.102,81
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	122,3457
	En kilómetros cuadrados.	62.405'982.290
Volumen.	Unidad: el de la Tierra	1.279,412
	En millones de kilómetros cúbicos	1.385',935843
Masa.	Unidad: la del Sol	1/1.047,2
	Unidad: la de la Tierra	309,816
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	0,242
	Unidad: la del agua	1,33
Valor de la atracción.	En el ecuador: unidad: el de la Tierra.	2,261
Epoca: 1 de Enero 1850.	Longitud del nodo ascendente.	98. ^o 56.' 17."
	" del perihelio	11. 54. 58.
	" media de la época	160. 01. 10.
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica.	1. 18. 41.
	Excentricidad de la órbita	0,0482519
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	11,861965
	En años julianos y días medios	11 ^a 314 ^d ,83817
Duración de la revolución sinódica		1 ^a 33 ^d , 626
Duración de la rotación.		9 ^h 55 ^m 37 ^s
Movimiento medio diurno.		4'59",1284
Achatamiento		1/17,11

380. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE JÚPITER.— La existencia de una atmósfera alrededor de Júpiter, bastante densa y asiento actualmente de grandes agitaciones, está suficientemente comprobada, no solo por las grandes

variaciones que experimentan sus manchas y bandas, sino también por los eclipses de sus satélites. Atendiendo al valor de la atracción en su superficie que, como se nota en el cuadro anterior, es 2,262 veces mayor que la gravedad en la Tierra, se comprende bien que exista en ella una gran presión, circunstancia, dice el P. Secchi, que, unida á la pequeña densidad del planeta, indica que este no puede suponerse en estado sólido. Así se admite hoy generalmente por los Astrónomos que Júpiter se encuentra todavía en vías de formación. Pudiéramos dar aquí datos muy curiosos é instructivos acerca del estudio que actualmente hacen los Astrónomos sobre este planeta gigante, pero no podemos detenernos, por lo cual solo indicamos los siguientes:

1.º *La gran mancha roja.*—Esta mancha, observada con particular atención desde 1879 hasta la fecha (1), cambia de posición jovicéntrica y de dimensiones, y aumenta y disminuye de intensidad luminosa, hasta el punto de haberse hecho casi invisible en algunas ocasiones aun con los más poderosos instrumentos., Según Young, dice G. Towne, esta mancha es un misterio en el que se encierra probablemente la clave de la constitución de este globo inmenso, del cual es su expresión más característica., Según el P. Müller, la mencionada mancha “es probablemente el producto de una erupción violenta sobre el planeta.,” y siendo estas erupciones análogas á las que se observan en el Sol, resulta que la mancha roja jovial sería “una cosa del todo análoga al núcleo de las manchas solares.,”

2.º *Variaciones de color de las manchas y bandas.* El estudio que hoy se hace por los Astrónomos sobre las variaciones de color que experimentan las manchas y bandas ecuatoriales de Júpiter se extiende hasta querer comprobar si dichas variaciones están sujetas á algun periodo de tiem-

(1) La mancha á que nos referimos está indicada (*Fig. 187*) en la parte superior del grabado, sobre la primera banda oscura.

po determinado. "Compulsando cuidadosamente todas las observaciones, M. Stanley Villiams ha llegado, dice C. Flammarion, á la conclusión de que el periodo es de 12 años, 08 para cada banda y de que el máximum de intensidad para cada una corresponde al mínimum de la otra.,

3.º *Días y noches comunes en Júpiter: Estaciones.* Teniendo en cuenta que el eje de rotación de Júpiter está inclinado unos 3º sobre su órbita, es claro que los días y las noches comunes tienen una duración casi constante para un paralelo dado, duración que es de unas 5 horas en el ecuador y de unos 6 años en los polos. Por la misma razón y atendiendo á que el planeta emplea unos 12 años en su revolución alrededor del Sol, se comprende bien que las estaciones sobre Júpiter han de ser poco variadas y muy largas.

4.º *Diferencia entre la duración del movimiento de rotación de Júpiter y el de sus manchas.*—Por último, se estudia también y con gran cuidado la duración del movimiento que emplean las manchas de Júpiter en una rotación. Dicha duración es distinta para la mancha roja y para otras manchas observadas no ha mucho tiempo en el hemisferio Sud del planeta, y, lo que también es de notar, varían irregularmente. Se vé, pues, claramente por todo lo dicho que el planeta Júpiter se encuentra en vías de formación, no habiendo llegado aún al estado sólido.

381. SATÉLITES DE JÚPITER: SUS ELEMENTOS.—Júpiter no está solo en su revolución alrededor del sol: lo acompañan cinco satélites, que con su planeta principal forman un sistema especial. Los cuatro primeros satélites fueron descubiertos por Galileo (núm. 18), y el quinto por M. Barnard, Astrónomo Norte-Americano, en 9 de Septiembre de 1872. Este último apenas si se distingue de una estrella de 13ª magnitud, por lo cual solo puede observarse con poderosos instrumentos: los otros cuatro se observan bien con anteojos

de mediano poder óptico. Los nombres y principales elementos de estos satélites los dá el cuadro siguiente:

Principales elementos de los satélites de Júpiter.					
Nombres.	Distancia media á Júpiter.		Diámetro real. En kilómetros.	Duración de la revolución sidérea.	MASA. Unidad: la de Júpiter.
	En radios del planeta.	En kilómetros.			
V.	2,55	179.906,08	160	0 ^d 11 ^h 57 ^m 22 ^s ,68	,
I Io	5,933	418.581,48	3.800	1. 18. 27. 33 ,51	0,000016
II Europa .	9,439	660.934,71	3.410	3. 13. 13. 42 ,05	0,000023
III Ganimedes . .	15,057	1'062.292,50	5.560	7. 3. 42. 33 ,39	0,000088
IV Calixto.	26,486	1'868.624,51	4.750	16. 16. 32. 11 ,20	0,000042

382. ECLIPSES DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER.—Júpiter, rodeado de sus satélites que cambian de posición en el corto espacio de algunas horas, ofrece espectáculos siempre nuevos para los observadores. Es muy interesante observar los *pasos* de estos satélites y los de sus sombras sobre el disco del planeta, y sobre todo *sus eclipses*. La gran magnitud del cono de sombra que Júpiter proyecta en el espacio y que se extiende hasta más allá de la órbita de Calixto, hace que todos los satélites puedan eclipsarse, y, dada la pequeña inclinación de sus órbitas con la del planeta, todos se eclipsan de hecho en todas sus revoluciones alrededor del planeta, excepción hecha del ya citado Calixto, que puede pasar por encima y por debajo de dicho cono de sombra.

Advertimos que el *Almanaque Náutico* trae un estado donde se tienen los datos necesarios para observar los eclipses de estos satélites del planeta gigante de nuestro sistema.

383. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ POR LOS ECLIPSES DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER.—Los eclipses de los satélites de Júpiter pueden utilizarse para medir la velocidad de la luz. El principio en que se funda esta medición es

muy sencillo. Sea S (*Fig. 188*) el Sol; T la Tierra, J Júpiter y L el satélite I. Conocemos la velocidad de traslación de Júpiter y el tiempo que emplea el satélite en su revolución alrededor del planeta.

Esto supuesto, cuando la Tierra está en T y Júpiter en J' el intervalo de tiempo entre dos *emersiones* consecutivas del satélite es por ejemplo

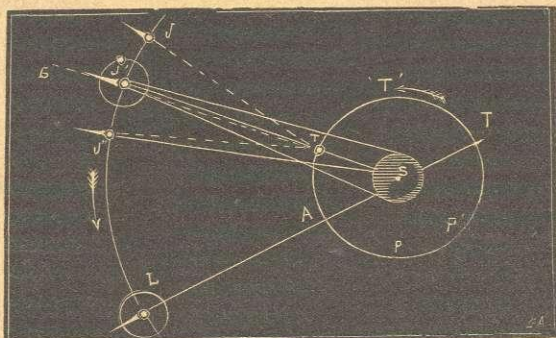


FIG. 188.—MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ POR LOS ECLIPSES DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER.

X. Se observa

que, cuando la Tierra en su revolución alrededor del Sol se aparta de Júpiter, ocupando las posiciones P, P' de su órbita, el valor de X aumenta, y por la inversa que, cuando se acerca a Júpiter, ocupando las posiciones T' T, el valor de X disminuye. Es claro que, siendo constante el tiempo que emplea el satélite en su revolución alrededor de Júpiter, el aumento y la disminución del valor de X es debido a otra causa.

Esta causa es la que trató de conocer el Astrónomo danés Roemer en 1676. Hizo sus observaciones, cuando la Tierra estaba, por ej. en T y Júpiter en J', y halló que el intervalo de tiempo transcurrido entre dos *emersiones* consecutivas del satélite era X: anotó este valor y repitió sus observaciones, cuando la Tierra estaba en T y Júpiter en L, hallando entonces que el tiempo transcurrido entre las dos emersiones del satélite era $X + 16^m 26^s$. Dedujo de estos hechos Roemer que los $16^m 26^s$ de exceso, eran los empleados por la luz del satélite en recorrer la línea AT, ó sea, el eje de la órbita de la Tierra. Por tanto, para hallar la velocidad de la luz en un segundo, no hay más que dividir AT por $16^m 26^s$. Ahora bien; como AT es el eje de la órbita de la Tierra, su valor es el duplo del semieje, ó sea, el duplo de la distancia media

de la Tierra al Sol. Luego, llamando V á la velocidad de la luz en un segundo, se tiene

$$V = \frac{2 \times 149'501.020,132}{16^m 26^s}$$

de donde

$$V = 303.247,50 \text{ Kms}$$

Posteriormente Fizeau ha ideado un ingenioso procedimiento, para medir la velocidad de la luz en un segundo sobre una distancia reducida de la superficie de la Tierra (1). Perfeccionado este procedimiento por los trabajos de M. Cornu, háse hallado para la velocidad de la luz en un segundo unos 300.400 kilómetros.

ARTÍCULO V.

MONOGRAFÍA DE SATURNO.

384. ASPECTO DE SATURNO Á LA SIMPLE VISTA Y CON LOS ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.—Saturno es sin duda alguna el planeta más singular y extraordinario del sistema solar, y su sistema parcial quizá el más admirable de todo el Cielo. Preséntase á la simple vista como una estrella ordinaria de 1.^a magnitud y puede distinguirse de estas por la tranquilidad de su luz.

Observado con buenos instrumentos, Saturno ofrece al espectador su hermoso séquito, compuesto de tres anillos y ocho satélites. En su disco se notan bandas y manchas análogas á las de Júpiter, aunque no presentan el mismo color, pues, según el P. Secchi, el color de Saturno tira al azul en los polos y es blanco brillante en el ecuador. La figura 189 muestra el aspecto telescópico de Saturno y sus anillos, dibujado por Trouvelot.

(1) Puede verse este procedimiento en la *Física Experimental y Aplicada* del Sr. Feliú, pág. 282.

385. PRINCIPALES ELEMENTOS DE SATURNO Y DE SU ÓRBITA.—Los principales elementos de Saturno y de su órbita están consignados en el cuadro siguiente:

Principales elementos de Saturno.		
Distancia me- dia al Sol.	Unidad: la de la Tierra	9,538856
	En kilómetros	1.426'068.702,892
Diámetro ecua- torial.	Aparente, visto desde la Tierra	De 15" á 20"
	A la distancia 1	2' 44", 77
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	9,299
	En kilómetros	118.625,353
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	86,471
	En kilómetros cuadrados.	44.507'300.622
Volúmen.	Unidad: el de la Tierra	718,883
	En millones de kilómetros cúbicos	778 ¹ ,737.498,58
Masa.	Unidad: la del Sol	1/3.529,6
	Unidad: la de la Tierra	91,919
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	0,128
	Unidad: la del agua	0,70
Valor de la atracción.	En el ecuador: unidad: el de la Tierra.	0,892
	Longitud del nodo ascendente.	112.° 20.' 53."
Epoca: 1 de Enero 1850.	" del perihelio	90. 6. 57.
	" media de la época	14. 52. 28.
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica.	2. 29. 40.
	Excentricidad de la órbita	0,0560713
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	29,457176
	En años julianos y días medios	29 ^a 166 ^d ,986360
Duración de la revolución sinódica		1 ^a 12 ^d , 835
Duración de la rotación.		10 ^h 14 ^m 24 ^s
Movimiento medio diario.		2' 0",4547
Achatamiento		1/9,18

386. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN DE SATURNO.—Como Júpiter, Sa-

turno no puede suponerse en estado sólido. Compruébase esta afirmación por la razón, ya aducida para Júpiter, de su poca densidad, su gran volumen, y el valor de la atracción en su superficie, y por los estudios de su espectro, los cuales, además de demostrar la existencia de una atmósfera alrededor del planeta y de ser el estado de este en gran parte fluido, prueban que la luz con que brilla el planeta es la del Sol, reflejada en su superficie, siendo sus bandas de absorción mayores que las del espectro de Júpiter. Admítase, pues, que está en formación y rodeado ó envuelto por una atmósfera bastante densa.

Nótase en el cuadro anterior que Saturno emplea unos $29\frac{1}{2}$ años en su revolución alrededor del Sol, y $10^h 14^m 24^s$ en su movimiento de rotación. Si ahora se tiene en cuenta que su eje de rotación está inclinado unos 26° sobre el plano de su órbita, se comprenderá bien que Saturno presenta alternativamente sus polos al Sol de un modo análogo á como lo hace la Tierra, aunque en un espacio de tiempo $29\frac{1}{2}$ veces mayor. Estas circunstancias dan por resultado que las estaciones se sucedan en Saturno como en la Tierra, aunque durando cada una unos $7\frac{1}{2}$ años. También se suceden allí, como entre nosotros, los días y noches comunes, aunque con la particularidad de que, durando unas 5^h en el ecuador, llegan á 15 años en los polos.

387. ANILLOS DE SATURNO: SUS PRINCIPALES ELEMENTOS.

—El sistema anular de Saturno es lo más característico de este remoto planeta. Su descubrimiento es de lo más curioso que hay en la historia de la Astronomía. Había notado Galileo que Saturno se componía, al parecer, de tres cuerpos que se tocaban entre sí, que conservaban las mismas posiciones relativas y que el mayor era el central, ocupando los otros dos el E. y el O. del anterior. Admirado ante este espectáculo nunca visto, continuó sus observaciones en 1610 y entonces notó con gran sorpresa que los dos globos menores disminuían de tamaño, concluyendo por desaparecer.

Estaba reservado á Huygens descifrar el enigma. Este Astrónomo sospechó la existencia del anillo, pero no estando

seguro todavía de la exactitud y certeza de sus observaciones, publicó en 1656, mientras continuaba sus trabajos, el siguiente logogrifo con objeto de que nadie se apropiase el descubrimiento:

aaaaaaaa	cccc	d	eeeeee	g	h
iiiiiii	llll	mm	nnnnnnnnn		
oooo pp	q	rr	s	ttttt	uuuuu

Concluidos sus estudios y seguro ya Huygens de sus observaciones, publicó en 1659 la interpretación de su logogrifo en la siguiente proposición que resulta, colocando convenientemente las letras anteriores.

Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato,
que puede traducirse así:

Está circuido (Saturno) por un anillo delgado, plano, que nunca toca á su superficie é inclinado sobre la eclíptica.

A partir de este acontecimiento, los Astrónomos estudiaron con singular empeño el anillo de Saturno. En 1675 Cassini descubría que estaba dividido en dos partes por una línea concéntrica y oscura, que de él se ha llamado *división de Cassini*, siendo por consiguiente no un anillo sino dos los descubiertos alrededor de Saturno. En 1850 Bond anunció á los Astrónomos que existía un tercer anillo interior á los dos anteriores, el cual es algo oscuro y semitransparente, por lo cual ha sido llamado por algunos Astrónomos *anillo de gasa*.

Las distintas posiciones, que con relación al Sol ocupan Saturno y la Tierra en su movimiento de traslación, hacen que el habitante de la última vea los mencionados anillos con diversas formas, explicándose así las apariencias que Galileo no pudo descifrar.

El plano de los anillos coincide sensiblemente con el del ecuador del planeta, siendo el más exterior de un color gris, el intermedio muy brillante y el interior oscuro y semitransparente, como hemos dicho. Están representados en el magnífico dibujo de Trouvelot (*Fig. 189*). Háse comprobado además que el anillo es poco grueso (unos 300 kilómetros), que es ligeramente elíptico y excéntrico, y que está dotado

de un movimiento, cuya duración es igual al tiempo que emplearía en su revolución un satélite, colocado á una dis-

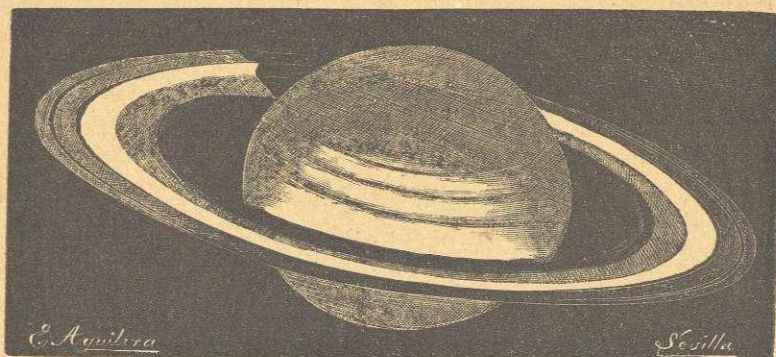


FIG. 189.—ANILLOS DE SATURNO.

tancia del planeta igual á la distancia media del anillo. El cuadro siguiente da los elementos principales de los dos anillos exterior é intermedio; el interior, descubierto por Bond, comienza próximamente donde termina el intermedio.

Principales elementos de los anillos de Saturno

Anillo exterior	Semidímetro exterior:	en radios de Saturno	2,229
		» » : en kilómetros	132.207,95
	interior:	en radios de Saturno.	1,962
		» » : en kilómetros	116.371,47
Ancho del anillo	» » : en radios de Saturno.	0,257	
	» » : en kilómetros	15.836,48	
División de Cassini	en radios de Saturno		0,046
		en kilómetros.	2.728,39
Anillo intermedio	Semidímetro exterior:	en radios de Saturno.	1,916
		» » : en kilómetros	113.643,08
	interior:	en radios de Saturno.	1,482
		» » : en kilómetros	57.901,38
Ancho del anillo	» » : en radios de Saturno.	0,434	
	» » : en kilómetros	25.741,70	
Duración de la rotación			10h 32m 15
Masa del anillo: unidad: la de Saturno			$\frac{1}{620}$

388. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN DE LOS ANILLOS DE SATURNO. — Admítase hoy por los Astrónomos que el anillo de Saturno no es más que una acumulación muy considerable de partículas ó corpúsculos independientes los unos de los otros y cada uno de los cuales es un verdadero satélite, girando en su órbita propia alrededor del planeta: en esta hipótesis, la más aceptable, el anillo de Saturno se hace semejante á una niebla ó nube de polvo.

Los Astrónomos han desechado las hipótesis de un cuerpo sólido ó líquido continuo, porque, dadas las atracciones combinadas de Saturno y de sus numerosos satélites, el anillo no podría conservar durante mucho tiempo su forma anular.

Por lo demás, el estudio del espectro de dicho anillo, muestra que refleja la luz del Sol, como Saturno, y presenta como carácter propio una banda en la region roja.

389. SATÉLITES DE SATURNO: SUS ELEMENTOS. — Además del hermoso apéndice anular que hemos estudiado, Saturno está circundado de ocho satélites, los cuales giran sobre su eje, y alrededor del planeta con movimiento directo, y próximamente en el plano de los anillos. No son frecuentes, como podría parecer á primera vista, los eclipses de estos satélites; antes por la inversa, son sumamente raros, por formar el plano común de sus órbitas un ángulo de unos 27° con la órbita de Saturno, por la cual se extiende el cono de sombra de este planeta. Sus elementos principales pueden verse en el cuadro siguiente. Por lo que respecta á la masa, el satélite que la tiene mayor es Titan, la cual equivale á 0,00021 de la de Saturno: la de Rhea equivale á 0,000004, siendo inferiores las de los demás.

Principales elementos de los satélites de Saturno.

Nombres.	Distancia media al planeta		Duración de la revolución sidérea.	Autor y fecha del descubrimiento.
	En radios del planeta.	En kilómetros		
Mimas . .	3,07	182.089,91	0. ^d 22. ^h 37. ^m 5 ^s ,3	W. Herschel 1789
Encelado .	3,94	233.691,94	1. 8. 53. 6,8	W. Herschel 1789
Tetis . . .	4,87	288.852,73	1. 21. 18. 26,2	D. Cassini 1684
Dione . . .	6,25	370.704,22	2. 17. 41. 9,5	D. Cassini 1684
Rhea . . .	8,73	517.799,66	4. 12. 25. 12,2	D. Cassini 1672
Titan . . .	20,22	1'199.302,30	15. 22. 41. 27,0	Huygens 1655
Hyperion.	24,49	1'452.567,41	21. 6. 38. 23,9	P. Bond 1848
Jafet . .	58,91	3'494.109,74	79. 7. 56. 23,0	D. Cassini 1671

NOTA.—En 1898 el Sr. Pickering ha descubierto, según se afirma, un *noveno satélite* de Saturno exterior á los anteriores. Sus elementos no están todavía determinados con exactitud: se asegura no obstante, que «su distancia al planeta es próximamente de 12'075.000 kilómetros, que cumple su revolución en unos 17 meses, que brilla como una estrella de 15.^a magnitud y que sus dimensiones están comprendidas entre 150 y 300 kilómetros.» Pickering ha propuesto que se le llame *Febé*, nombre que no parece muy adecuado para otros Astrónomos, por significar en su origen *brillante* y haberse dado por los griegos á la Luna.

ARTÍCULO VI.

MONOGRAFÍA DE URANO.

390. ASPECTO TELESCÓPICO DE URANO.—Con Saturno hemos terminado el estudio de los planetas primarios visibles á la simple vista. Conocido (núm. 23) cómo fué descubierto Urano, poco nos queda que decir de él. Visto con los anteojos y telescopios aparece como una estrella de 6.^a magnitud, y examinado con atención y en buenas condiciones atmosféricas hánse observado sobre su disco rasgos de bandas análogas á las de Júpiter y Saturno, sin que por ellas haya podido determinarse hasta hoy el tiempo que el planeta emplea en su movimiento de rotación, ni ningún pormenor de su superficie.

391. PRINCIPALES ELEMENTOS DE URANO Y DE SU ÓRBITA.
 —En el siguiente cuadro consignamos los principales elementos que corresponden á Urano y á su órbita:

Principales elementos de Urano.		
Distancia media al Sol.	Unidad: la de la Tierra	19,18329
	En kilómetros	2.867'921.424,488
Diámetro ecuatorial.	Aparente, visto desde la Tierra	4"
	A la distancia 1	1' 15", 02
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	4,234
	En kilómetros	54.012,232
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	17,926
	En kilómetros cuadrados	9.143'729.932
Volumen.	Unidad: el de la Tierra	69,237
	En millones de kilómetros cúbicos.	75'001.672,62
Masa.	Unidad: la del Sol	1/2400
	Unidad: la de la Tierra	13,518
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	0,195
	Unidad: la del agua	1,07
Valor de la atracción.	En el ecuador: unidad: el de la Tierra	0,754
Epoca: 1 Enero 1850	Longitud del nodo ascendente.	73.º 13.' 54."
	» del perihelio	179. 50. 7.
	» media de la época	29. 17. 51.
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica	0. 45. 20.
	Excentricidad de la órbita	0,0463414
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	84,020233
	En años julianos y días medios	84ª 7ª,39036
Duración de la revolución sinódica		1ª 4ª, 399
Duración de la rotación		» »
Movimiento medio diario		42", 231
Achatamiento		1/11

392. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN DE URANO. —Lo poco que se sa-

be sobre la constitución de Urano es debido á la espectroscopia. El estudio de su espectro prueba que el planeta tiene una atmósfera muy absorbente. En cuanto al espectro mismo es muy diferente del solar y parecido al de los cometas. El haber observado los Astrónomos que los colores rojo y amarillo son muy débiles y que en el verde y en el azul hay dos rayas muy largas, muy anchas y muy negras que no existen en el espectro del Sol, los ha inclinado á suponer que Urano es un poco luminoso por si mismo.

393. SATÉLITES DE URANO: SUS ELEMENTOS.—Urano está rodeado de cuatro satélites, cuyos principales elementos damos en el cuadro siguiente. Es de advertir que la inclinación de las órbitas de estos satélites sobre el plano de la eclíptica es superior á 90° (97 y 98), y por tanto, su movimiento no es *directo*, sino *retrógrado*.

Principales elementos de los satélites de Urano.

NOMBRES.	Distancia media á Urano.		Duración de la revolución sidérea.	Autor y fecha del descubrimiento.
	En radios del planeta.	En kilómetros.		
Ariel . . .	7,04	190.123,056	2 ^d 12 ^h 29 ^m 21 ^s ,1	Lassel 1851
Umbriel . .	9,91	267.630,609	4. 3. 27. 37 ,2	Lassel 1851
Titania . .	16,11	435.068,528	8. 16. 56. 29 ,5	W. Herschel 1787
Oberón . .	21,54	581.711,738	13. 11. 7. 6 ,4	W. Herschel 1787

NOTA.—Algunos autores señalan á Urano mayor número de satélites, pero solo los anteriores están reconocidos como tales y tienen determinados sus elementos.

ARTÍCULO VII.

MONOGRAFÍA DE NEPTUNO.

394. ASPECTO TELESCÓPICO DE NEPTUNO.—Ya dijimos en el número 24 que el descubrimiento de Neptuno fué un gran triunfo de la Astronomía matemática y muy poco más

podemos añadir aquí. Visto con los anteojos y telescopios se presenta como una estrella de 8.^a magnitud, de color verde, análogo al del agua de mar, lo cual muestra que absorbe casi todos los rayos solares. No se conoce el tiempo que emplea en su rotación, ni ningún pormenor de su superficie.

395. PRINCIPALES ELEMENTOS DE NEPTUNO Y DE SU ÓRBITA.—Damos en el cuadro siguiente los principales elementos de Neptuno y de su órbita.

Principales elementos de Neptuno.		
Distancia media al Sol.	Unidad la de la Tierra	30,05508
	(en kilómetros.)	4.493'265.120,148
Diámetro ecuatorial.	Aparente visto desde la Tierra.	2",5
	A la distancia 1	67, 29
Diámetro real.	Unidad: el de la Tierra	3,798
	En kilómetros	48.450,273
Superficie.	Unidad: la de la Tierra	14,424
	En kilómetros cuadrados.	6.357'422.768
Volumen.	Unidad: el de la Tierra	54,955
	En millones de kilómetros cúbicos	59'530.553,30
Masa.	Unidad: la del Sol	1/19.700
	Unidad: la de la Tierra	16,469
Densidad.	Unidad: la de la Tierra	0,300
	Unidad: la del agua	1,65
Valor de la atracción	En el Ecuador: unidad el de la Tierra.	1,142
Epoca: 1 Enero de 1850.	Longitud del nodo ascendente	130° 6' 25."
	del perihelio	45. 59. 43.
	> media de la época.	334. 33. 29.
	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica	1. 47. 2.
	Excentricidad de la órbita	0,0089646
Duración de la revolución sidérea.	En años sidéreos	164,766895
	En años julianos y días medios	164 ^a 280 ^d , 11316
Duración de la revolución sinódica		1 ^a 2 ^d , 230
	Duración de la rotación	> >
Movimiento medio diurno		21",535

396. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN DE NEPTUNO.—Como hemos dicho al hablar de Urano, lo que se sabe sobre la constitución de Neptuno se debe al análisis espectral. Comprueba este que su atmósfera absorbe los rayos solares, y que su espectro es también diferente del solar, coincidiendo por sus bandas oscuras con el de las estrellas del cuarto tipo del P. Secchi y de la tercera clase de Vogel, circunstancia que, unida á rayas particulares que presenta en el verde y en el azul, parece indicar que es algo luminoso por sí mismo.

397. SATÉLITE DE NEPTUNO: SUS ELEMENTOS.—Neptuno tiene un solo satélite, que, como los de Urano, se mueve en sentido retrógrado, á causa de su gran inclinación sobre la eclíptica, que es de $142^{\circ} 40'$: sus principales elementos los da el cuadro siguiente:

Principales elementos del satélite de Neptuno.			
Distancia media á Neptuno.		Duración de la revolución.	Autor y fecha del descubrimiento.
En radios del planeta.	En kilómetros.		
14,73	356.836,25	5d 21h 2m 38s ,4	Lassel 1846

CAPÍTULO VII

AMPLIACIÓN Y COMPLEMENTO AL ESTUDIO DE LOS PLANETAS

Estudiados ligeramente los planetas de nuestro sistema solar, damos en este capítulo algunas nociones que son necesarias, si las ya expuestas no han de quedar incompletas.

398. EL PLANETA EROS: SUS ELEMENTOS.—No hemos hecho mas que una indicación hasta ahora (núm. 25) sobre el planeta descubierto por Witt el 13 de Agosto de 1898. Este planeta, que ha poco tiempo fué llamado *Eros*, ha sido catalogado por su pequeñez con el número 433 de los planetoides, pero se diferencia de estos últimos en que su órbita no está comprendida entre Marte y Júpiter, sino entre la Tierra y Júpiter. Los elementos que se han calculado los dá el cuadro siguiente:

Principales elementos del planeta Eros.				
Distancia media al Sol.		Duracion de la revolución.	Excentricidad de la órbita.	Inclinación de la órbita sobre la eclíptica.
Unidad: la de la Tierra.	En kilómetros.			
1,45655	217'755.710,87	642 ^d ,08	0,21139	9° 57',4

399. ¿EL PLANETA VULCANO?—No hemos dicho nada antes de ahora del planeta problemático intra-mercurial, que

ha sido llamado *Vulcano*. Varios Astrónomos y principalmente el médico alemán Dr. Lescarbault han asegurado haber visto proyectarse sobre el disco del Sol un cuerpo negro y redondo, que, según ellos, es un planeta intra-mercurial. No hay nada determinado y mucho menos demostrado sobre este punto, siendo necesario que nuevas observaciones comprueben ó rectifiquen las anteriores.

400. PROCEDIMIENTO EMPÍRICO PARA RECORDAR LAS DISTANCIAS MEDIAS DE LOS PLANETAS AL SOL: LEY DE BODE.— Entre los diversos medios que pueden excogitarse, para recordar con prontitud y facilidad las distancias medias de los planetas al Sol, ocupa sin duda alguna un lugar preeminente la ley de Titius ó de Bode, que ambos nombres tiene, pues Titius la publicó en 1772 y Bode llamó la atención de los Astrónomos sobre ella en 1778. Para hacerse cargo de esta ley, considérese la siguiente serie:

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384,...

en la cual, como se vé, á partir del número 3, cada término es igual al duplo del precedente. Si ahora sumamos á cada término el número 4, tenemos:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388.

Esta nueva serie nos dá aproximadamente las distancias medias de los planetas al Sol, tomando como unidad la de la Tierra. Para ello no hay más que dividir por 10 cada término, con lo cual se hace igual á 1 el correspondiente á la Tierra. Y así:

0,4. 0,7. 1. 1,6. 2,8. 5,2. 10. 19,6. 38,8.

Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Planetoides, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno.

Cuando se formuló esta ley, no se conocía ningún planeta, que correspondiese al término 28, pero más tarde se han encontrado los planetoides. Tampoco se conocía ningún planeta exterior á Saturno, mas después se han descubierto

Urano y Neptuno, con relación á los cuales la ley se muestra muy deficiente. Esta circunstancia, unida á que la ley tampoco marca con exactitud las distancias de los demas planetas, como puede verse consultando los cuadros que hemos dado con sus elementos, ha hecho que los Astrónomos no le reconozcan ningun valor científico y la consideren tan solo, como la hemos enunciado en el epígrafe de este número, esto es, como un procedimiento empírico para recordar aproximadamente las distancias medias de los planetas al Sol.

401. DISTANCIA DE LOS PLANETAS Á LA TIERRA.—Al hablar de los planetas no hemos marcado las distancias á que se encuentran de la Tierra. Respecto de este punto lo que mejor puede decirse es: 1.º, que estas distancias son variables á causa de los movimientos á que están sujetos los planetas y la Tierra; 2.º, que directamente pueden determinarse por el procedimiento indicado para la Luna (núms. 295 y 296), y 3.º, que es muy facil determinarlas cada día, valiéndose de los datos que trae el Almanaque Náutico (núm. 195). En el siguiente cuadro damos las distancias máximas y mínimas de los planetas primarios á la Tierra.

Distancias de los planetas primarios á la Tierra.		
NOMBRES.	Distancias: en millones de kilómetros.	
	Máxima.	Mínima.
Mercurio	222	74
Venus	259	37
Marte	400	52
Júpiter.	963	585
Saturno	1.652	1.193
Urano	3.141	2.578
Neptuno	4.653	4.271

402. FORMA EXACTA DE LAS ÓRBITAS PLANETARIAS.—Al hablar de las órbitas planetarias no hemos tenido en cuenta

el movimiento del Sol por los espacios (núm. 161), y es de gran importancia contar con este movimiento, porque el Sol, al moverse, lleva consigo todos los planetas y satélites del sistema. Por esta razón, las órbitas de los planetas que hemos supuesto perfectamente elípticas, no lo son durante un tiempo indefinido; antes bien, considerando simultáneamente ambos movimientos, el de los planetas alrededor del Sol y el de este por los espacios, se obtienen para la forma de las trayectorias planetarias unas curvas particulares, de las cuales se formará una idea, inspeccionando atenta y detenidamente la figura 190, que hemos hecho reproducir,

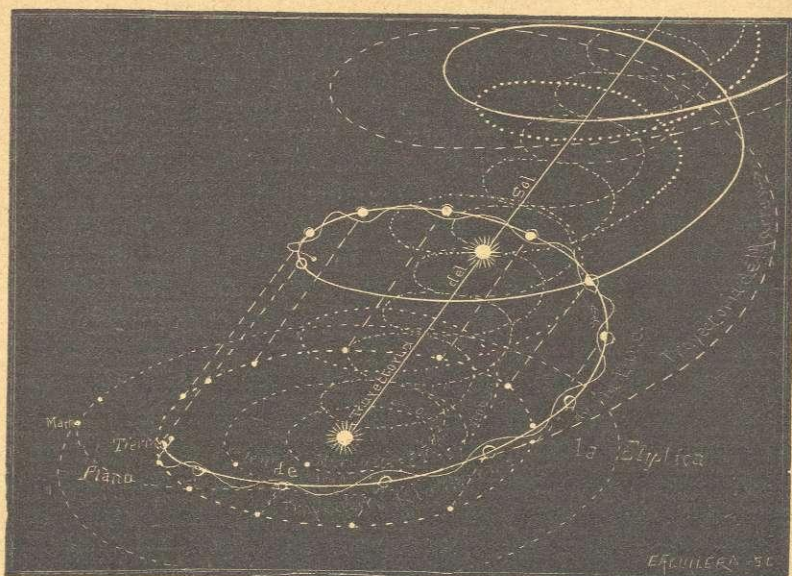


FIG. 190.—FORMA EXACTA DE LAS ÓRBITAS PLANETARIAS.

tomándola de la obra del Sr. Arcimis *El Telescopio Moderno*, por lo bien que se presta á la cabal inteligencia de este punto.

SECCIÓN TERCERA



COMETOLOGÍA.

Estudiado el Sol en la sección primera y los planetas con sus satélites en la segunda de esta segunda parte, pasamos á dar algunas nociones sobre los Cometas y Meteoros Cósmicos en esta sección tercera, con lo cual quedará concluido el estudio del sistema solar.

CAPÍTULO I

COMETAS

El estudio de los cometas es muy interesante é instructivo por el aspecto especial que presentan estos astros *cabeludos*; por conocer á estos *visitadores* de nuestro sistema y no dejarse llevar de un vano temor, cuando aparezcan, y en fin, porque su conocimiento nos enseña que la acción del Sol se extiende hasta más allá del planeta Neptuno, lo cual indi-

ca que no están en la órbita de este planeta tan remoto los límites de nuestro sistema.

ARTÍCULO I.

NOCIONES GENERALES.

403. CONCEPTO GENERAL DE LOS COMETAS: SUS CARACTERES.—Cuando se quiere dar una idea general de los cometas puede atenderse á dos cosas: á sus aspectos y á sus movimientos y órbitas.

1.º Atendiendo á sus aspectos los cometas pueden describirse: unos astros que no se observan por los habitantes de la Tierra sino cuando están próximos al Sol, y en los cuales se distinguen generalmente tres partes; un punto más ó menos brillante, que se llama *núcleo*; una nebulosidad ó aureola luminosa que envuelve el núcleo, que se llama *cabe-*

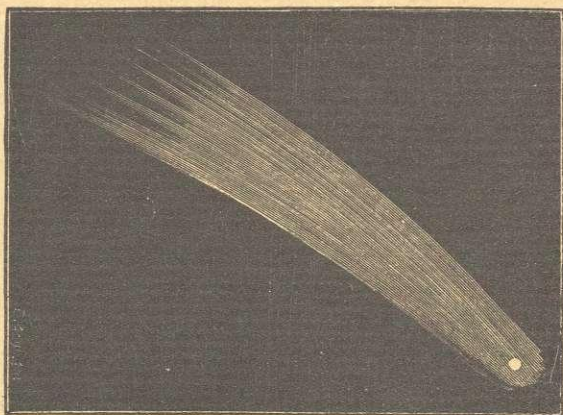


FIG. 191.—ASPECTO DE LOS COMETAS.

llera, y un rastro luminoso, que recibe el nombre de *cola*. La figura 191 muestra el aspecto de un hermoso cometa.

Nótese que la cabellera y la cola experimentan constan-

temente modificaciones, tanto en su forma, como en su magnitud, á causa del excesivo enrarecimiento en que se encuentra la materia de que se componen. Tan enrarecida está dicha materia que al través de ella se distinguen muy bien las estrellas, habiéndose observado alguna vez hasta la de 12.^a magnitud.

Nótese también que en muchas ocasiones se han observado cometas sin cola; otros, cuyo núcleo era transparente, y algunos en fin sin núcleo, distinguiéndose en ellos únicamente la nebulosidad cometaria.

2.º Atendiendo á sus movimientos y órbitas, los cometas pueden describirse: unos astros que están dotados de movimientos propios al través de las constelaciones y que, por describir elipses muy excéntricas, se alejan considerablemente del Sol y de la Tierra. Tal puede ser este alejamiento que, además de hacerse invisibles, traspasen la órbita de Neptuno y su elipse se convierta, al menos para los efectos del cálculo, en una parábola.

Nótese que el movimiento de los cometas puede ser directo ó retrógrado y que su órbita puede formar con la eclíptica un ángulo desde 0º á 180º.

404. DIFERENCIA ENTRE LOS PLANETAS Y LOS COMETAS.—
—Lo dicho en el número anterior es bastante, para que podamos indicar las principales diferencias que existen entre los planetas y los cometas.

1.^a—*Sus aspectos.* Los planetas se presentan como discos redondos; los cometas con formas irregulares.

2.^a—*Su órbita.* Los planetas describen elipses poco excéntricas, esto es, que se acercan al círculo; los cometas elipses muy excéntricas, esto es, que se acercan á la parábola, y en algunos casos verdaderas parábolas.

3.^a—*La posición del plano de su órbita.* Las órbitas de los planetas están comprendidas en la zona del Zodiaco: las de los cometas se orientan en cualquiera dirección.

4.^a *El sentido de su movimiento.*—Todos los planetas

se mueven con movimiento directo; los cometas, unos con movimiento directo y otros con movimiento retrógrado.

5.^a *Tiempo y espacio en que pueden observarse.*—Los planetas pueden observarse durante todo el tiempo que emplean en su revolución y en todos los puntos de su órbita; los cometas solo cuando recorren la parte de la suya que está próxima al Sol y á la Tierra.

Existen además otras diferencias que se notarán á medida que hablemos de estos vagabundos astros.

ARTICULO II.

MOVIMIENTOS DE LOS COMETAS.

405. MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN DE LOS COMETAS ALREDEDOR DEL SOL.—Como todos los astros que están en el firmamento, los cometas participan del movimiento aparente diurno de la esfera celeste alrededor de la Tierra, pero, dados sus movimientos propios al través de las constelaciones y el no observarse hasta que se encuentran próximos al Sol, su estudio no ofrece particularidad digna de ser notada. Por otra parte, estando sujeta á cambios de forma y de magnitud la materia que constituye los cometas, sería una inconsecuencia buscar en estos un movimiento regular de rotación alrededor de un eje propio.

Esto supuesto, solo queda el movimiento de traslación á que están sujetos dichos astros. Se demuestra en primer lugar que los cometas están animados de un movimiento propio al través de las constelaciones, del mismo modo que el de los planetas; esto es, observándolos con atención y notando sus cambios de posición con relación á las estrellas, mediante un globo ó mapa celeste.

Se demuestra en segundo lugar el sentido del movimiento, observando cuál es su trayectoria sobre la esfera celeste; si se nota que se mueven en sentido opuesto al de la rotación aparente de dicha esfera, su movimiento es directo; si en el mismo sentido, retrógrado. Mas como los cometas

pueden moverse fuera del zodiaco, lo más acertado es determinar durante varias observaciones la longitud y la latitud del cometa y de ellas deducir el sentido de su movimiento.

Se demuestra por último que se mueven alrededor del Sol, determinando su órbita y sus elementos, antes de que el cometa se haga invisible, por ocultarlo los resplandores del Sol. Hecho esto, se espera á que salga de los rayos del Sol por el otro lado, se determinan nuevamente su órbita y sus elementos, y al observar que se obtienen los mismos datos que en la determinación anterior, se tiene demostrado que es el mismo astro, que ha pasado por detrás del Sol, durante el tiempo que ha estado sin verse, y que se hubiera visto, si no lo hubiesen impedido los rayos del Sol.

406. ORBITAS DE LOS COMETAS: SUS ELEMENTOS.—Para determinar la órbita de un cometa, los Astrónomos comienzan suponiendo que es una parábola, puesto que el cometa no es visible desde la Tierra, como hemos dicho antes, sino cuando está próximo el Sol. Observando cuando menos en tres posiciones distintas al cometa, y anotando su ascensión recta y su declinación en cada caso, llegan á deducir y determinar sus elementos. Estos son cinco: los dos primeros marcan el plano de la órbita; el tercero la situación de la órbita en el plano ya determinado; los dos últimos completan los anteriores.

1.º—*Inclinación de la órbita sobre la eclíptica*, ó sea, el ángulo que forman dichos planos.

2.º—*Longitud del nodo ascendente*, ó sea, la posición de la línea de los nodos.

3.º—*Dirección del eje mayor*, ó sea, la longitud del perihelio.

4.º—*Distancia perihelia del cometa*.

5.º—*Epoca en que el cometa pasa por el perihelio*.

Con estos elementos y el sentido del movimiento del cometa, necesario para determinar el 5.º, queda conocida la

órbita de un cometa en el espacio, pero supuesta *parabólica*.

Para llegar á determinar, si la órbita de que se trata es una parábola ó una elipse, no hay más que examinar, si se puede determinar la magnitud lineal del eje mayor de la parábola, pues si esta determinación es posible, por el mismo hecho quedará cerrada la parábola y convertida en una elipse. Los Astrónomos, siguiendo las ideas de Newton, han conseguido determinar la magnitud lineal del eje mayor de las órbitas de varios cometas; las cuales no son por consiguiente parabólicas, sino elípticas. Para ello comenzaron por determinar los elementos parabólicos de todos los cometas conocidos, y después, compulsando los cálculos, observaron que varios cometas habían aparecido en determinadas ocasiones con intervalos de tiempo constantes entre dos apariciones consecutivas. Este intervalo de tiempo constante entre dos apariciones consecutivas es la revolución sidérea del cometa, y, conocida esta, puede obtenerse la magnitud

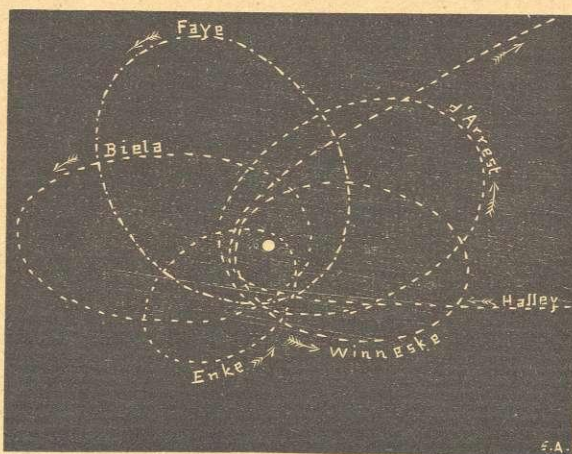


FIG. 192.—ORBITAS DE LOS PRINCIPALES COMETAS PERIÓDICOS.

lineal del eje mayor de su elipse en radios terrestres por la 3.^a ley de Kepler (núm. 19). La figura 192 muestra las órbitas elípticas de los principales cometas periódicos.

407. PERTURBACIONES PRODUCIDAS POR SATURNO Y JÚPITER EN LAS TRAYECTORIAS DE LOS COMETAS.—Sabido que todos los cuerpos se atraen en el espacio con arreglo á la ley de la gravitación universal, se comprende perfectamente que, si un cometa, dado el enrarecimiento de su materia, pasa por las inmediaciones de los planetas, experimentará una atracción que puede producir grandes irregularidades en su trayectoria. Sucede esto principalmente cuando los cometas pasan junto á Saturno y á Júpiter, debido á las grandes masas de estos planetas. A causa de estas perturbaciones habrá habido casos en que la órbita elíptica de un cometa se haya convertido en parabólica y hasta en una hipérbola y viceversa. Así se comprende que algunos cometas no hayan vuelto á verse; que otros no conocidos, ni vistos, aparezcan, y que se retrasen ó se adelanten los conocidos en sus órbitas etc. etc.

ARTÍCULO III

MONOGRAFÍAS COMETARIAS.

408. CLASIFICACIÓN DE LOS COMETAS.—Las nociones expuestas sobre las órbitas de los cometas, suministran los datos necesarios para hacerse cargo de la clasificación que hacen los Astrónomos de estos astros. Esta clasificación es en *cometas periódicos* y *no periódicos*. Son periódicos aquellos cometas que tienen órbitas elípticas y determinados sus elementos, pudiendo por tanto predecirse la fecha en que serán nuevamente vistos desde la Tierra. Entre ellos los hay de periodo corto y de periodo largo, según sea el tiempo que empleen en su revolución sidérea.

Los cometas no periódicos son, como indica su nombre, aquellos cuya órbita y elementos no están determinados, y por tanto no puede predecirse con exactitud cuándo volverán á ser visibles desde la Tierra, ni aun siquiera si volverán.

409. PRINCIPALES COMETAS PERIÓDICOS: SUS ELEMENTOS.—Entre los cometas periódicos ocupan lugar preeminente

unos 18, cuyos elementos pueden verse en el *Annuaire du Bureau des Longitudes* (Paris, 1900), de donde extractamos los correspondientes á los seis, cuyas órbitas hemos representado en la figura 192.

Principales elementos de seis cometas periódicos.

NOMBRES.	Duración de la revolución siderea. (años)	Excen- tricidad.	DISTANCIA AL SOL.		Época del paso por el perihelio.
			Perihelia.	Afelia.	
Encke	3,303	0,846	0,3406	4,0919	1898. Mayo 27
Winnecke	5,831	0,714	0,9241	5,5547	1898. Marzo 21
D'Arrest	6,675	0,627	1,3212	5,7689	1890. Sept. 17
Biela (núcleo 1)	6,692	0,752	0,8791	6,2228	1866. Enero 26
Biela (núcleo 2)	6,693	0,752	0,8791	6,2240	1366. Enero 27
Faye.	7,566	0,549	1,7381	5,9700	1881. Enero 23
Halley	76,08	0,961	0,6870	31,2238	1910. Mayo 16

Para completar los datos del cuadro anterior, nótese: 1.º, que el cometa de Encke tiene la particularidad de que la duración de su revolución disminuye constantemente: 2.º, que el de Biela, conocido también por *cometa de Gambart*, se presentó dividido en dos cometas distintos en la aparición de 1846, recorriendo sus trayectorias uno al lado del otro y aumentando de una á otra aparición la distancia entre ambos; y 3.º, que el de Halley es el cometa que más se ha observado en los tiempos antiguos, se mueve en sentido retrógrado y su revolución es unas veces de 75 y otras de 76 años.

410. PRINCIPALES COMETAS OBSERVADOS ENTRE LOS NO PERIÓDICOS.—Muchos son los cometas observados entre los no periódicos y cada uno de ellos se ha distinguido por algún carácter particular. Aquí mencionaremos únicamente los cinco siguientes:

1.º El que apareció en 1556. Fué llamado cometa de

Carlos V, y los Astrónomos han esperado en vano su vuelta hacia 1860.

2.º El observado por Chéseaux en 1774, y que se distinguió por sus múltiples colas, unas 6.

3.º El de 1811 y 1812, notable por las enormes dimensiones que alcanzaron su núcleo, su cabellera y sobre todo su cola. Es el que hemos representado en la figura 191.

4.º El de 1843, que se distinguió por su gran brillo, hasta el punto de poderse observar durante el día, y por las grandes dimensiones de su cola.

5.º El de *Donati*, observado en 1858, digno de toda consideración, por su brillo, por sus dimensiones y por su hermoso aspecto. Está representado en la figura 193.

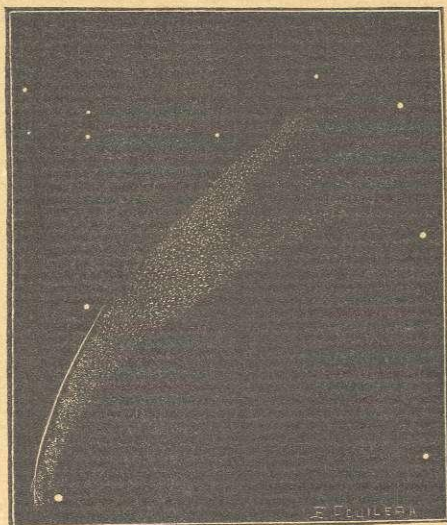


FIG. 193.—COMETA DE DONATI.

ARTÍCULO IV

CONSTITUCIÓN DE LOS COMETAS.

411. DIRECCIÓN DE LAS COLAS DE LOS COMETAS.—Es un hecho observado y comprobado repetidas veces por los Astrónomos que cuando un cometa aparece en el fondo del espacio, dirigiéndose hacia el Sol, afecta la forma redonda ú oval, y luego al acercarse al perihelio se disgrega más y más su materia hasta formarse la cola. Esta, sin salir del plano de la órbita en que se mueve el cometa, se alarga del

lado opuesto al Sol (*Fig. 194*). Al explicar los Astrónomos es-

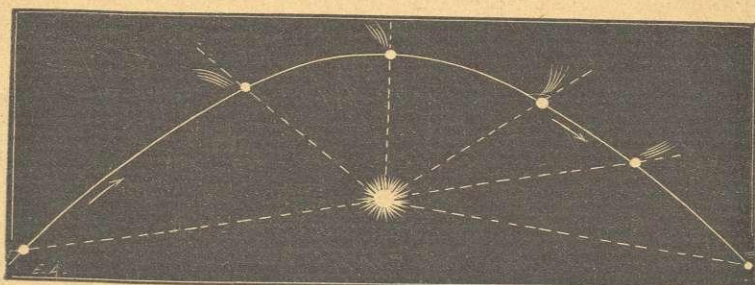


FIG. 194.—DIRECCIÓN DE LAS COLAS DE LOS COMETAS.

te fenómeno suponen casi siempre que las radiaciones solares ejercen una acción repulsiva sobre las moléculas que constituyen la materia tan enrarecida de los cometas.

Según Faye, esta repulsión pudiera ser ejercida por las radiaciones térmicas, pues, como él mismo ha comprobado experimentalmente, el calor irradiado por un disco de platino al rojo repele el aire enrarecido en el interior de la campana de una máquina pneumática.

412. DIVISIÓN DE LOS COMETAS.—Hemos indicado anteriormente los cambios de forma y magnitud que experimentan los cometas. Así mismo hemos hecho notar que el cometa de Biela se dividió, convirtiéndose en dos cometas distintos, fenómeno que ha sido observado también en otros cometas.

Cuál ó cuáles sean las causas productoras de estos fenómenos y otros análogos, no está suficientemente determinado.

Según Tisserand una de las causas que influyen en la transformación de los cometas debe ser la enorme variación de la cantidad de calor, que reciben del Sol, en razón de los cambios considerables que experimentan en sus distancias á este astro. Según dice G. Towne, Krueger, director del Observatorio de Kiel, admite una fuerza perturbatriz, interior al

cometa, la cual es susceptible de obrar en una dirección cualquiera.

413. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS ASTRONÓMICOS SOBRE LA CONSTITUCIÓN DE LOS COMETAS.—El estudio que en estos últimos tiempos se ha hecho, y que actualmente se hace, del espectro de los cometas induce á los Astrónomos á admitir que los cometas están formados de partículas sólidas, flotantes en una atmósfera gaseosa. “De ser así, escribe el P. Secchi, (1) debieran resultar dos espectros: uno formado de bandas, debido al gas desarrollado por el calor solar; otro continuo, producido por la reflexión en las partículas sólidas..”

La existencia de estos dos espectros ha sido comprobada por el análisis espectral de los cometas. En efecto, según las observaciones del mismo P. Secchi, de Huggins, de Scheiner, de Vogel y de otros muchos Astrónomos, los cometas dán dos espectros: uno discontinuo, que en último término se reduce á tres bandas, una amarilla, otra verde y la tercera azul; y otro continuo, aunque débil, que ocupa el campo espectral, y sobre el cual se notan las tres mencionadas bandas brillantes.

Prueban también las observaciones de los Astrónomos que estas tres bandas coinciden con las producidas por los hidrocarburos incandescentes; de donde puede deducirse que el carbono existe en la materia de que se componen los cometas. El espectro de las tres bandas brillantes puede resultar muy bien de una combinación del carbono con otros elementos, ora hecha incandescente por el excesivo calor, ora puesta en combustión por influencias eléctricas.

El estudio espectral de los cometas ha probado además que estos astros brillan con luz propia (la que produce las tres bandas) y que reflejan la luz solar (la que produce el débil espectro continuo).

Por último, las diferencias que notan los Astrónomos, al observar los espectros de distintos cometas, no son tan notables que no puedan afirmar con Rayet que los espectros de los cometas observados son sustancialmente idénticos.

(1) *El Sol*, tom. 2.º, pág. 432.

CAPÍTULO II

METEOROS CÓSMICOS

Dadas algunas nociones en el capítulo anterior acerca de los cometas, terminaremos en este el estudio de esta sección, y con ella el del sistema solar, dando una ligera idea de los *meteoros cósmicos*. El estudio de estos meteoros forma hoy una no despreciable rama de la ciencia astronómica por las íntimas relaciones que tiene y por la luz que irradia sobre la no menos importante de los cometas.

ARTÍCULO I.

NOCIONES GENERALES.

414. CONCEPTO GENERAL DE LOS METEOROS CÓSMICOS.— En el nombre genérico de *meteoros cósmicos* se comprenden aquellos meteoros que se observan en la atmósfera de la Tierra, generalmente en sus más elevadas regiones, y que son producidos por materia extra-terrena, que se inflama al penetrar en las capas atmosféricas de nuestro globo.

415. CLASIFICACIÓN DE LOS METEOROS CÓSMICOS.— Tal como hemos descrito en el número anterior los meteoros cósmicos, pueden clasificarse en tres grupos: *estrellas fugaces*;

bóhdos, y *aerolitos*. A estos tres grupos agregaremos el estudio de la *luz zodiacal*, fenómeno, que no sabemos si con el tiempo habrá de sumarse á los meteoros mencionados ó suponerlo como producido por las últimas moléculas de la corona solar.

ARTÍCULO II.

ESTRELLAS FUGACES.

416. CONCEPTO GENERAL DE LAS ESTRELLAS FUGACES.— Se dá el nombre de *estrellas fugaces* á aquellos puntos brillantes y ráfagas luminosas, que se observan durante la noche, cruzando el espacio en todas direcciones, y que desaparecen en el corto tiempo de algunos segundos.

Creyóse durante mucho tiempo que eran verdaderas estrellas que cambiaban de lugar en la esfera celeste, pero esta hipótesis fué necesario rechazarla, por la sencilla razón de que las estrellas que constituyen las constelaciones ni aumentan, ni disminuyen, al concluir el fenómeno: son pues las estrellas fugaces verdaderos meteoros. Su color, generalmente blanco, suele también presentar otros matices, rojo, amarillo, azul, etc. Su brillo, comparado con el de las verdaderas estrellas, es siempre igual ó superior al de las de 6.^a magnitud, llegando hasta competir á veces con las de 1.^a.

417. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA ALTURA DE LAS ESTRELLAS FUGACES.—Para medir la altura de las estrellas fugaces los Astrónomos emplean el siguiente procedimiento. Se colocan dos observadores en la superficie de la Tierra, separados por un espacio de 40 ó 50 kilómetros. Provisto cada uno de un buen cronómetro, regulados ambos por el mismo meridiano, observan las estrellas fugaces, anotando cuidadosamente el momento de su aparición y desaparición, así como también su posición aparente sobre la esfera celeste. Si, al compulsar después sus anotaciones, encuentran ambos observadores que han obser-

vado una estrella fugaz en el mismo momento, es claro que ambos han observado un mismo meteoro. Ahora bien; como cada uno tiene además anotado el punto de la esfera celeste en que la estrella fugaz se proyectaba en el momento de la observación, se comprende sin dificultad que se puede formar un triángulo, del cual se tienen conocidos los elementos suficientes para resolverlo. En efecto; la base de este triángulo es la línea que une sobre la superficie de la Tierra las dos estaciones, y los otros dos lados los rayos visuales dirigidos por cada observador desde su estación respectiva al punto de la esfera celeste, en que vió proyectarse la estrella fugaz en el momento de la observación; puede, pues, medirse la base y los ángulos adyacentes, con lo cual está determinado el triángulo.

Los datos, así obtenidos por los Astrónomos, dan una altura que oscila entre 50 y 150 kilómetros, pudiéndose, por tanto, considerar como altura media la de 100 kilómetros.

418. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA TRAYECTORIA APARENTE DE LAS ESTRELLAS FUGACES SOBRE LA ESFERA CELESTE.—Para poder determinar la trayectoria que describen las estrellas fugaces, al ser proyectadas por el observador sobre la esfera celeste, menester es que dicho observador tenga á su disposición un mapa de la región del cielo que observa. Al aparecer la estrella fugaz, la sigue con la vista, nota las estrellas que están próximas á la trayectoria descrita, y traza una línea sobre el mapa celeste, la cual representa sobre este mapa la trayectoria descrita por el meteoro sobre la esfera celeste.

Procediendo así para un gran número de estrellas fugaces, observará, cómo la mayor parte proceden, al parecer, de un punto ó región de la esfera celeste, y recorren, á partir de este punto, trayectorias divergentes y más ó menos largas (*Fig. 195*).

419. PUNTO RADIANTE: SU CONCEPTO Y EXPLICACIÓN.—El punto ó la región del Cielo, de donde, al parecer, proceden las estrellas fugaces se llama *punto radiante*, *foco de*

radiación, ó sencillamente *radiante* (Fig. 195). Para convenirse de que la existencia de este *foco de radiación* no es más que *aparente*, recuérdese que, como hemos dicho antes (núm. 417), la altura de las estrellas fugaces es de unos 150 kilómetros y las estrellas están á distancias enormes de la Tierra.

Explicanse estas apariencias por un efecto de perspectiva. “Los que conocen los principios de esta ciencia, escribe á este propósito R. Stawell

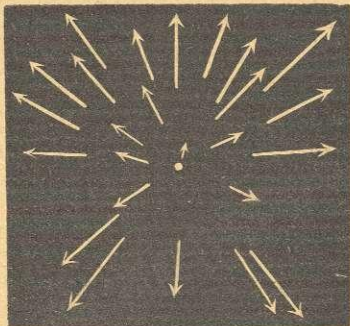


FIG. 195. — PUNTO RADIANTE DE LAS ESTRELLAS FUGACES.

Ball, saben que cuando se debe representar en un cuadro cierto número de líneas paralelas se las debe hacer pasar todas á través del mismo punto en el plano de la pintura, á no ser en el caso excepcional en que también son líneas paralelas á la pintura misma. Cuando miramos las estrellas fugaces, lo que realmente vemos no es otra cosa sino las proyecciones de sus pasos sobre la superficie del cielo. Por el hecho de que todos esos pasos atraviesan por el mismo punto debemos inferir que las estrellas pertenecientes á la misma lluvia se mueven todas en líneas paralelas,, (1).

420. PRINCIPALES RADIANTES.—Entre los varios radiantes observados y comprobados por los Astrónomos hay dos dignos de una mención especial: la constelación de *Perseo* y la del *Leon*; *Perseidas* y *Leónidas* son los nombres que se dán á las estrellas fugaces que de ellas irradian. Las primeras se presentan principalmente en las noches del 10 al 13 de Agosto y las segundas en las del 11 al 13 de Noviembre.

Existen además otros radiantes de los cuales enumera-

(1) *La Historia de los Cielos*, traducida directamente del inglés por Enrique Leopoldo de Verneuil, pág. 240.

remos los siguientes, indicando además la época en que son mas numerosas las estrellas fugaces que de ellos proceden: la *Lira* en Abril; el *Cisne* en Julio; *Orion* en Octubre; los *Gemelos* en Diciembre.

No ha mucho tiempo se dió cuenta á la Sociedad Astronómica de Francia (1) de una nota comunicada por L. Libert, en la cual participaba este que habia descubierto un nuevo radiante en la constelación de la *Girafa*, y cuya intensidad máxima se observa en Septiembre. En esta nota publicada por la Sociedad (2) se lee entre otros particulares: "Después de cuatro años de observaciones, me inclino á creer que el número de meteoros (de cada radiante) dá el orden de clasificación siguiente:

Perseo, *Girafa*, Leon, Orión, Cisne, los Gemelos, la Lira.,

421. HORARIO DE LAS ESTRELLAS FUGACES: LLUVIA DE ESTRELLAS.—Llaman los Astrónomos *horario de las estrellas fugaces* al número de ellas que se observan en una hora de la noche en un punto determinado. Por término medio se observan de 10 á 12, número que varía considerablemente de un punto á otro y aun en un mismo punto. Por regla general las estrellas fugaces son más numerosas hácia el Este, por las madrugadas, y de Julio á Enero, variaciones que se explican satisfactoriamente por el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

Cuando las estrellas fugaces se repiten con mucha frecuencia y en gran número se dá al fenómeno el nombre de *lluvia de estrellas*.

422. ORIGEN Y NATURALEZA DE LAS ESTRELLAS FUGACES.—Varias son las hipótesis excogitadas por los Astrónomos, para explicar el origen y la naturaleza de las estrellas fugaces, las cuales pueden reducirse muy bien á las tres siguientes:

(1) Sesión del 8 de Noviembre de 1899.

(2) Boletín de Diciembre de 1899.

1.^a Supone la primera hipótesis que existen en nuestro sistema solar numerosos y diminutos cuerpos oscuros, que circulan alrededor del Sol, ya aislados, ya formando uno ó más anillos (*Fig. 196*).

En estos anillos hay aglomeraciones considerables de estos corpúsculos, una de las cuales está indicada en la figura. Cuando estos diminutos cuerpos penetran en la atmósfera de la Tierra se inflaman á causa del excesivo calor desarrollado por su rozamiento con las capas aéreas.

2.^a La segunda hipótesis supone que, al dividirse y subdividirse los cometas se convierten en numerosos corpúsculos que continúan circulando alrededor del Sol, siguiendo la misma trayectoria que los cometas de donde proceden. Estos corpúsculos cometarios son los que, inflamados al penetrar en la atmósfera terrestre, producen las estrellas fugaces.

3.^a Suponen los partidarios de la tercera hipótesis que existen, diseminados en los espacios inter-estelares, grandes cúmulos de materia nebulosa y sumamente enrarecida. Esta materia, solicitada por la atracción del Sol, tiende á penetrar en el sistema solar, y ora por los efectos de esta misma atracción, ora por la de los planetas, cerca de los cuales pasa, experimenta ciertas modificaciones, en virtud de las cuales se presentan á nuestra vista como cometas, ó como estrellas fugaces, si penetran en la atmósfera de la Tierra.

Como se vé, todos los Astrónomos convienen en que las estrellas fugaces son cuerpos diminutos de materia extraterrestre, que se inflaman al penetrar en la atmósfera de la

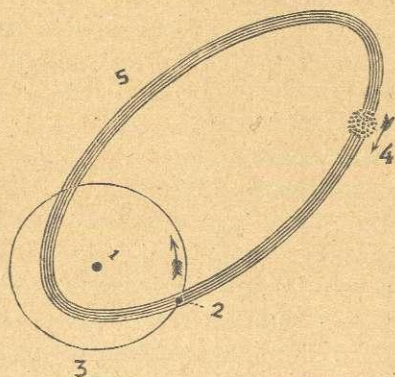


FIG. 196.—ZONA Ó ANILLO DE CORPÚSCULOS.

1. Sol.—2. Tierra.—3. Órbita de la Tierra.—4. Aglomeración de corpúsculos.—5. Órbita de los corpúsculos.

Tierra, á causa del excesivo calor desarrollado por su rozamiento con las capas aéreas.

Por lo demás, bien puede decirse que las estrellas fugaces tienen todos los orígenes asignados. En efecto:

1.º Todas las noches se observan estrellas fugaces, lo cual indica la existencia de corpúsculos aislados. Las estrellas fugaces son más numerosas en las noches del 10 al 13 de Agosto y del 11 al 13 de Noviembre, y precisamente en estas fechas es cuando la Tierra corta el anillo de los corpúsculos (*Fig. 196*). Además, con un intervalo de unos 33 años se han observado en las noches del 11 al 13 de Noviembre unas lluvias de estrellas verdaderamente espléndidas, lo cual indica que la Tierra ha encontrado al cortar el anillo de los corpúsculos una de sus aglomeraciones.

2.º Háse comprobado también por trabajos recientes de los Astrónomos, y principalmente por los de Schiaparelli, que ha habido verdaderas lluvias de estrellas fugaces, al cortar la Tierra las órbitas de cometas que se han dividido, como son el de Biela, y el telescópico de 1862.

3.º Por último, sabemos que cuando aparecen los cometas en el fondo del espacio no presentan otro aspecto que el nebuloso redondo ú oval; que algunos desaparecen de nuestro sistema, penetrando en los espacios inter-estelares, y que otros en fin penetran en nuestro sistema, sin que antes hayan sido vistos. Claro está que, si al formarse, por así decirlo, el cometa con su núcleo, cola y cabellera, quedan algunas partículas esparcidas por el espacio, estas se inflamarán al penetrar en las atmósferas de los planetas, produciendo en la nuestra las estrellas fugaces.

Se comprende, pues, por todo lo dicho que el encuentro de la Tierra con un cometa, tan temido en multitud de ocasiones, quizá no produciría otro fenómeno que el de una extraordinaria y magnífica lluvia de estrellas fugaces.

ARTÍCULO III.

BÓLIDOS, AEROLITOS Y LUZ ZODIACAL.

423. BÓLIDOS: SU CONCEPTO Y EXPLICACIÓN.—Los bólidos no se diferencian de las estrellas fugaces sino en su

aspecto y dimensiones. La entrada é inflamación en la atmósfera terrestre de un cuerpo diminuto produce una estrella fugaz. Si el cuerpo que penetra es de mayores dimensiones y se inflama, su forma es por regla general la de un globo luminoso, que despidе un vivo resplandor, hasta el punto de haberse observado en algunas ocasiones durante el día, y cuyo color, aspecto y volumen suelen variar en los diferentes puntos de su trayectoria. Estos meteoros son los que se conocen con el nombre de *bólidos*.

Es muy común que los bólidos dejen en pos de sí una ráfaga luminosa que persiste en ocasiones durante varios minutos, habiendo alcanzado algunas veces una duración de cerca de media hora. Cuando el bólido se inflama suele dividirse en varios fragmentos, acompañando á esta especie de explosión fuertes detonaciones, análogas al estampido del trueno, ó á una descarga de artillería. Por último, al explotar el bólido, suelen caer sobre la superficie de la Tierra los fragmentos en que se ha dividido.

424. AEROLITOS: SU CONCEPTO Y EXPLICACIÓN.—Se da en general el nombre de *aerolito* á toda masa mineral, que procedente del espacio penetra en la atmósfera de la Tierra y cae sobre su superficie, sin haberse quemado del todo á su paso por las capas aéreas. Claro está que *aerolitos* son también los fragmentos que caen sobre la superficie de la Tierra, al explotar un bólido en su atmósfera.

Distínguense entre sí los aerolitos recogidos por su forma, color, peso, dimensiones y componentes químicos. Su forma es por regla general prismática ó piramidal con las aristas redondeadas y los ángulos destrozados; su color negro, á veces brillante, y en ocasiones blanco marmóreo; su peso oscila entre algunos gramos y centenares de kilogramos: sus dimensiones entre masas casi imperceptibles y otras que tienen uno ó dos metros de longitud, y por último, sus componentes químicos son hierro metálico en abundancia y mezclados con él en mayor ó menor cantidad manganeso, níquel, cobalto, cobre, silicio, aluminio, etc. Singularidad digna de ser notada! *nunca* se ha encontrado en los

aerolitos un cuerpo simple que no esté conocido y analizado en la Tierra, lo cual comprueba admirablemente las conclusiones del análisis espectral sobre la constitución química de los astros.

425. LUZ ZODIACAL: SU CONCEPTO Y EXPLICACIÓN.—Consiste la *luz zodiacal* en un vivo resplandor, semejante á una nube luminosa, que se observa después del crepúsculo vespertino en el Occidente y antes de la aurora en el Oriente. Afecta por regla general la forma elipsoidal, cuyo eje mayor está dirigido en dirección de la eclíptica y cuyo centro parece encontrarse en las inmediaciones del Sol, ó en el Sol mismo. Su altura sobre el horizonte es de unos 50°, su base de 20 á 30° y su inclinación sobre el horizonte, hacia el S. de unos 60°. Puede observarse durante todo el año entre los trópicos, y en nuestras latitudes de Febrero á Abril por la tarde y de fin de Septiembre á principios de Diciembre por la madrugada. Para observarla bien debe escogerse una noche sin Luna, sin nubes en la atmósfera y sin brumas en el horizonte.

No están conformes los Astrónomos en asignar la causa que produce este admirable fenómeno. Para unos sería producido por una polvareda de corpúsculos que débilmente reflejasen la luz del Sol; para otros por la corona solar, cuyas moléculas estarían difundidas por el espacio hasta tan dilatadas regiones; para algunos en fin por un anillo de la Tierra, interior á la órbita de la Luna, y compuesto de partículas ténues que reflejasen la luz del Sol.

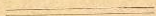
Como se vé, la naturaleza de la luz zodiacal y sus causas productoras son todavía desconocidas; hay pues necesidad de esperar á que nuevas y decisivas observaciones expliquen tan misterioso fenómeno.



NOCIONES
DE
ASTRONOMIA



TERCERA PARTE



SIDEROLOGIA



Estudiada de un modo general la esfera celeste en la Uranología; recorridos en la Heliología los astros que componen el sistema solar, pasamos ya al estudio del Universo sidéreo. Puede decirse que vamos á visitar el país de las maravillas; tantas y tan admirables son las que encierra el mundo de las Estrellas y de las Nebulosas! Nosotros solamente daremos algunas nociones sobre aquellas y estas, para que sirvan de base á su verdadero estudio.

CAPITULO I

NOCIONES SOBRE LAS ESTRELLAS

Estudiadas anteriormente (parte 1.^a cap. III) la clasificación de las estrellas por magnitudes, su distribución en constelaciones, métodos de designarlas y procedimientos para encontrarlas en la esfera celeste, pasamos desde luego á exponer algunas nociones que den mejor á conocer estos astros.

ARTÍCULO I.

NOCIONES GENERALES.

426. DISTANCIA DE LAS ESTRELLAS Á LA TIERRA.—La primera idea que ha de adquirirse y que ha de tenerse siempre presente acerca de las estrellas es la enorme distancia á que se encuentran de la Tierra. Algo hemos indicado antes sobre este punto (núms. 65 y 219), pero con el fin de que se tenga de él una idea clara, nos valdremos de un procedimiento tan sencillo, como exacto, y que lo explica satisfactoriamente.

Supónganse dos observadores, tan separados como se

quiera, en dos puntos A y B (*Fig. 197*) de la superficie terrestre, y sea E una estrella. El observador, situado en A, vé la estrella en la dirección AE (1), y el situado en B en la dirección BE. Tenemos, pues, el triángulo ABE, en el cual se conoce el valor de la base AB. Midiendo los ángulos en A y en B, el triángulo queda determinado, y por tanto, puede deducirse el valor de AE y de BE, ó sea, el valor de la distancia que hay entre la estrella y la Tierra.

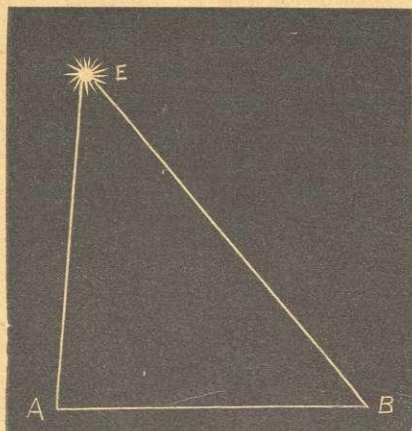


FIG. 197.—DISTANCIA DE LAS ESTRELLAS.

Compréndese con facilidad que, siendo el valor de los tres ángulos de un triángulo igual á dos ángulos rectos, ó sea, á 180° , el valor de los ángulos en A y en B ha de ser menor de 180° , para que el triángulo ABE pueda resolverse, y aun para que dicho triángulo exista. Pues bien, cuantas veces se ha intentado utilizar este procedimiento por los Astrónomos, se han encontrado con que sumados los valores de los ángulos en A y en B han dado 180° ; resultado que indica suficientemente que la distancia de la estrella á la Tierra es tan considerable, que las dos líneas EA y EB son paralelas; esto es, que toda la Tierra, si se viese desde la estrella, no sería sino un punto. Véase, pues, con cuanta razón hemos dicho (núms. 65 y 219) que las estrellas no tienen paralage diurna.

427. PARALAGE ANUA DE ALGUNAS ESTRELLAS: SU DISTANCIA Á LA TIERRA.—Viendo los Astrónomos que por la paralage diurna no podían obtener la distancia de ninguna estrella á la Tierra, recurrieron á la paralage anua, que,

(1) Se suponen, como siempre, corregidós los efectos de la refracción.

como sabemos (núm. 65), es el ángulo bajo el cual se vería desde la estrella el semieje mayor de la órbita de la Tierra, ó sea, el ángulo TES (*Fig. 198*). El valor de este ángulo se obtiene del modo siguiente.

Cuando la Tierra está en T se mide el ángulo ETS, y se anota su valor. En virtud de su movimiento de traslación, la Tierra recorre su órbita en la dirección TT'T'', y á los seis meses de haber estado en T, se encuentra en T''', punto de su órbita situado en el otro extremo de su eje mayor TT''': se mide el ángulo ET'''S, y se anota también su valor.

Como se vé, el eje mayor de la órbita de la Tierra TT''' y los rayos visuales de la Tierra á la estrella TE y T'''E forman un triángulo, ETT''', en el cual se conocen la base y los ángulos adyacentes á ella; el triángulo está, pues, determinado, y por consiguiente puede deducirse el valor de TE, ó de T'''E, esto es, el de la distancia de la estrella á la Tierra. La base TT''' es conocida, porque su valor es el duplo de la distancia media de la Tierra al Sol, y los ángulos en T y en T''', por haberlos medido.

Si se quiere obtener la paralaje ánua y por ella el valor de la distancia de la estrella á la Tierra, no hay mas que sumar los valores de los ángulos ETS y ET'''S y restarlos de 180°: la diferencia encontrada es el valor del ángulo TET''', que á su vez es el duplo de la paralaje ánua de la estrella.

Procediendo, como hemos dicho, los Astrónomos han medido la paralaje de muchas estrellas, pero solo de algunas han podido obtener resultado satisfactorio, pues la mayor parte están tan distantes, que, á pesar de ser tan enorme la base del triángulo adoptado, los ángulos en T y en T''' suman 180°, lo cual indica que toda la órbita de la Tierra, es como un punto, vista desde aquellas estrellas.

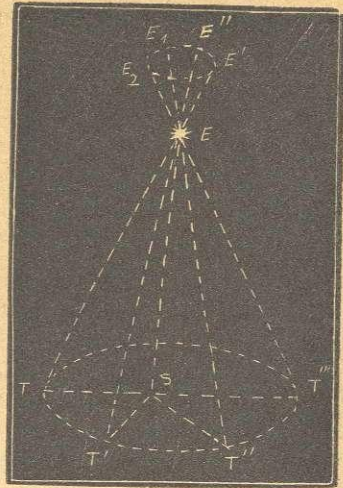


FIG. 198.—PARALAJE ÁNUA DE LAS ESTRELLAS.

Teniendo ahora en cuenta lo dicho en el núm. 163, se comprenderá bien que, si el valor de la paralage anua de una estrella es de 1", el de su distancia á la Tierra será 206.264,80 veces el semieje mayor de la órbita de esta, aumentando este último á medida que aquel disminuya. Con esto y con saber que no hay paralage estelar que llegue á 1", se vendrá en conocimiento de la enorme distancia que de las estrellas nos separa. Para completar estas nociones, damos en el cuadro siguiente los datos obtenidos por los Astrónomos sobre algunas estrellas.

Paralage anua y distancia de doce estrellas á la Tierra.				
NOMBRES.	Valor de la paralage.	Distancia á la Tierra.		Tiempo que emplea la luz en llegar á la Tierra. (años.)
		En millones del semieje de la órbita terrestre.	En trillones de kilómetros.	
α del Centauro	0",72	0,29	43	4,5
β del Cisne	0,44	0,47	70	7,4
Sirio	0,37	0,56	83	8,8
Procyón	0,27	0,76	113	12,1
σ del Dragón	0,24	0,86	128	13,6
η de Casiopea	0,21	0,98	146	15,5
La Cabra	0,21	0,98	146	15,5
Altair	0,20	1,03	153	16,3
β de Casiopea	0,16	1,29	191	20,3
Aldebaran	0,15	1,38	204	21,7
Wega	0,15	1,38	204	21,7
α de la Osa menor (<i>Polar</i>)	0,07	2,95	438	46,05

428 NÚMERO DE LAS ESTRELLAS: LEY DE STRUVE.—La segunda idea que conviene tener siempre presente sobre las estrellas es su extraordinario número. Ya hemos dicho que son unas 6.000 las visibles á la simple vista, pero este número es un átomo en comparación del asombroso número de las estrellas. Para formarse idea exacta acerca de este punto, expondrémos la ley que el astrónomo Struve ha excogitado.

Supone este Astrónomo que el número de las estrellas en cada una de las magnitudes es igual al triplo de las es-

trellas de la magnitud inmediata inferior. Así, si N es el número de las estrellas de 1.^a magnitud, $N \times 3$ es el número de las que corresponden á la 2.^a; $N \times 3 \times 3 = N \times 3^2$ el de las pertenecientes á la 3.^a; $N \times 3^2 \times 3 = N \times 3^3$ el de las existentes en la 4.^a, y en general, para una magnitud n , $N \times 3^{n-1}$.

Se comprende bien por lo dicho que conocido el número de las magnitudes existentes, y el de las estrellas de 1.^a magnitud, el número total de estrellas se obtiene por un sencillo cálculo de multiplicación. Pero sucede que los Astrónomos no han podido convenir en el número exacto de las estrellas de 1.^a magnitud, ni mucho menos en las magnitudes existentes. Por otra parte, la ley de Struve no es más que una ley aproximada, y por tanto, no es posible obtener exactamente el número de las estrellas que pueblan el espacio.

Con todo, demos que se marque el número de las estrellas de 1.^a magnitud y el número de las magnitudes existentes, y concedamos la exactitud á la ley de Struve; á pesar de todas estas concesiones, el número de las estrellas quedaría desconocido y mayor que el obtenido, puesto que ni los más potentes anteojos y telescopios, ni los admirables adelantos que diariamente se hacen en la espectroscopia y fotografía son suficientes, para que el Astrónomo perciba todas las estrellas que se encuentran diseminadas por las profundidades del espacio. Así es, que á medida que se perfeccionan los instrumentos y métodos de observación, aumenta el número de las estrellas observadas.

Por lo demás, admitiendo que son 16 las magnitudes, y 20 las estrellas de 1.^a magnitud (números 90 y 94), es claro que en la 2.^a magnitud habrá $20 \times 3 = 60$ estrellas; en la 3.^a, $20 \times 3^2 = 180$; en la 4.^a, $20 \times 3^3 = 540$; en la 5.^a, $20 \times 3^4 = 1.620$, y así sucesivamente para cada magnitud, hasta llegar á la 16.^a, en la cual habrá $20 \times 3^{15} = 95'659.380$. Para obtener el número total, que arroja este cálculo, hay además que sumar el número de estrellas de cada una de las magnitudes. Así, se obtiene el número 143'489.060.

ARTÍCULO II.

MOVIMIENTOS DE LAS ESTRELLAS.

429. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LAS ESTRELLAS.—Las estrellas tienen dos clases de movimientos; *aparentes* y *verdaderos* ó *propios*. Los movimientos aparentes, comunes á todas las estrellas pueden reducirse á tres: 1.º, el movimiento de conjunto; esto es, la rotación aparente de la esfera celeste, alrededor de la Tierra, producido por el movimiento de rotación de esta: es el *movimiento diurno*, que hemos estudiado antes (parte 1.ª, cap. IV); 2.º, los cambios aparentes de posición, producidos por la *aberración de la luz*, de los cuales hemos hablado en el número 219, y 3.º, los cambios aparentes de posición á causa de la traslación de la Tierra alrededor del Sol, y de la traslación del Sol por los espacios (núms. 161 y 220). No insistiendo más sobre estos puntos, pasamos á dar unas nociones sobre sus movimientos propios.

430. MOVIMIENTOS PROPIOS DE LAS ESTRELLAS.—Sabemos (núm. 161) que la traslación del Sol por los espacios no es suficiente, para explicar por sí sola las variaciones, que, aunque muy lentas, se observan en la forma de algunas constelaciones, y que es necesario admitir en las estrellas que las constituyen movimientos propios. Estos movimientos se efectúan naturalmente en el espacio, y un gran número de observaciones, que admiran por su delicadeza y precisión, han dado á conocer que muchas estrellas tienen un movimiento, que, proyectado sobre la esfera celeste, se efectúa sobre un arco de círculo máximo y de un modo uniforme. Las estrellas, pues, no están *fijas*, y si así se han considerado durante mucho tiempo, ha sido únicamente, porque no se han podido utilizar procedimientos tan delicados y precisos, como son los que en la actualidad se poseen; á saber, anteojos y telescopios de gran potencia, micrómetros, espectroscopios, aparatos fotográficos, etc., etc.

Por regla general, los mencionados movimientos se pro-

ducen simultaneamente sobre la ascensión recta y la declinación de las estrellas, originándose de ambos una resultante en una dirección determinada. El cuadro siguiente indica los movimientos propios de las estrellas de primera magnitud.

Movimientos propios anuales de las estrellas de 1. ^a magnitud.				
Nombres.	Movimiento en Asc. recta	Movimiento en Decl.	Resultante	Dirección
Aldebaran	+ 0 ^s , 004	— 0 ^{''} , 18	0 ^{''} , 19	164 ^o
Altair	+ 0 , 035	+ 0 , 38	0 , 64	54
Antares	— 0 , 001	— 0 , 03	0 , 03	206
Achernar	+ 0 , 008	— 0 , 07	0 , 12	177
Arturo	— 0 , 080	— 1 , 98	2 , 28	210
α del Centauro	— 0 , 476	+ 0 , 81	3 , 62	283
α de la Cruz del S.	— 0 , 006	— 0 , 04	0 , 10	246
β del Centauro	— 0 , 010	— 0 , 05	0 , 16	268
β de la Cruz del S.	— 0 , 009	— 0 , 03	0 , 14	258
Betelgense	+ 0 , 002	— 0 , 00	0 , 03	88
Cabra (la)	+ 0 , 008	— 0 , 42	0 , 43	169
Espiga (la)	— 0 , 003	— 0 , 04	0 , 06	231
Fomalhaut	+ 0 , 023	— 0 , 15	0 , 34	116
Procyón	— 0 , 047	— 1 , 03	1 , 26	215
Régulo	— 0 , 018	+ 0 , 02	0 , 27	274
Rigel	»	— 0 , 01	0 , 01	180
Sirio	— 0 , 037	— 1 , 20	1 , 32	204
Wega	+ 0 , 017	+ 0 , 30	0 , 36	34

431. VELOCIDAD RADIAL: SU CONCEPTO: PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS PARA DETERMINARLA.—Háse llamado *movimiento radial* por Deslandres el movimiento de un astro en el sentido del radio que lo une con otro, ya se aleje de este último, ya se aproxime á él. *Velocidad radial* será, pues, la velocidad con que se aleje un astro de otro, ó se aproxime á él en el sentido del radio que los une. Con relación al habitante de la Tierra *velocidad radial* de un astro será la velocidad con que este astro se acerque á la Tierra ó se aleje de ella en el sentido del rayo visual que va del observador al astro. Por tanto, *velocidad radial* de una estrella es la velocidad con que se acerca á la Tierra, ó se aleja de

ella en el sentido del rayo visual que vá del observador á la estrella.

Parece á primera vista difícil, por no decir imposible, que el hombre pueda observar la existencia del movimiento radial en las estrellas y mucho mas determinar su velocidad. Así ha sido en efecto, mientras no han contado los Astrónomos con la aplicación de la espectroscopia y la fotografia al estudio de los astros. Demos á conocer siquiera el principio en que estos estudios se fundan.

Es una verdad comprobada que, cuando un cuerpo luminoso se aproxima con una velocidad comparable á la de la luz á la pantalla donde se proyecta su espectro, las rayas de este se dislocan y se dirigen hácia la región violácea, y hácia la región roja, cuando se aleja, siendo la desviación tanto mayor y perceptible, cuanta mayor es la velocidad con que el cuerpo se aproxima ó se aleja. Es claro que, observando el cambio de posición en las rayas del espectro y midiendo cuidadosamente la desviación, se puede venir en conocimiento del movimiento del foco luminoso y de la velocidad con que se aleja, ó se acerca. Este principio formulado por Doppler en 1841 y perfeccionado por Fizeau en 1848 se conoce con el nombre de *principio de Doppler-Fizeau*.

La existencia de la desviación de las rayas espectrales y el valor de esta desviación se obtiene por comparación con otro espectro, producido por un foco luminoso artificial, de un modo análogo al indicado anteriormente (núm. 54), para descubrir los elementos químicos de que se componen los astros. Cuando se observan estrellas, los espectros de comparación empleados suelen ser el del hidrógeno, el del magnesio y el del hierro.

Se comprende con facilidad que estas observaciones pueden hacerse por visión ocular directa, yuxtaponiendo los dos espectros (núm. 54). Pero es muy difícil hacer de este modo observaciones delicadas y precisas, á causa del cansancio que experimenta la retina y del constante temblor de las rayas espectrales de la estrella. Así es que los Astrónomos, empleando instrumentos especiales, en los cuales se han reunido de un modo admirable el antejo astronómico, el espectroscopio y un aparato fotográfico, obtienen imáge-

nes yuxtapuestas del espectro estelar y del artificial, y así obtenidas, se entregan tranquila y seguramente al estudio de sus líneas, de sus dislocaciones, de sus desviaciones y cambios de posición, é interpretan los datos misteriosos que la placa fotográfica encierra.

Con lo dicho basta para nuestro plan: en el cuadro siguiente damos las velocidades radiales de algunas estrellas cuyos datos han sido obtenidos por Vogel y por Scheiner en el observatorio de Potsdam y que tomamos de la obra, ya citada, de G. Towne. El signo + indica que la estrella se aleja del Sol: el — que se acerca.

Velocidades radiales de catorce estrellas de 1.^a magnitud.

NOMBRES.	Número de placas obtenidas.	Velocidad asignada por segundos: en kilómetros.		
		Vogel.	Scheiner.	Media.
Aldebaran	4	+ 48	+ 49	+ 49
La Cabra	11	+ 25	+ 24	+ 24
Betelgeuse	2	+ 16	+ 19	+ 17
Sirio	10	— 14	— 20	— 17
Castor	3	— 30	— 30	— 30
Procyón	3	— 8	— 10	— 9
Pollux	2	+ 2	+ 0	+ 1
Régulo.	2	— 9	— 10	— 9
Wega	8	— 14	— 16	— 15
Altair	3	— 40	— 34	— 37
Deneb	4	— 6	— 10	— 8
Rigel	14	+ 18	+ 15	+ 16
La Espiga.	27	»	»	— 15
Arturo.	6	— 7	— 8	— 8

432. CAMBIOS EN EL ASPECTO DEL CIELO POR LOS MOVIMIENTOS PROPIOS DE LAS ESTRELLAS.—En el número 105 hemos enumerado las causas que han de producir en el transcurso del tiempo grandes cambios en el aspecto del Cielo. Claro está que entre estas causas ocupan lugar preeminente los movimientos propios de las estrellas, pues efectuándose estos movimientos en distintas direcciones para las estrellas

que constituyen una constelación, es evidente que la forma de las constelaciones variará y con ella el aspecto del Cielo.

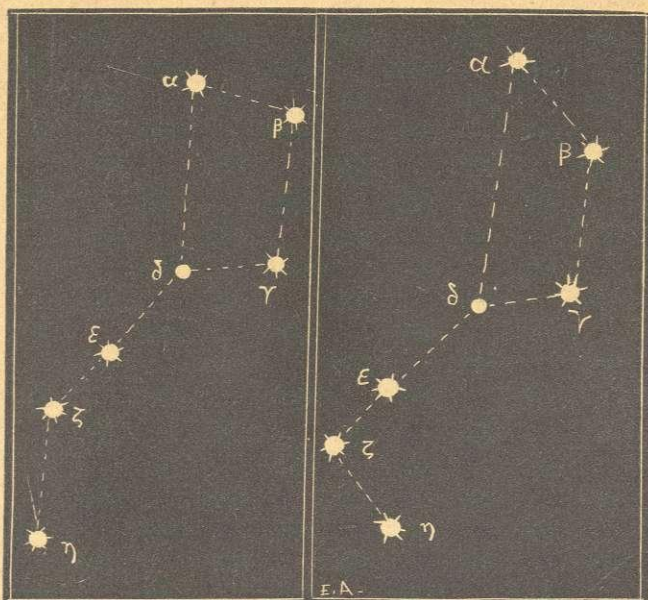


FIG. 199.--OSA MAYOR: FORMA ACTUAL Y FORMA QUE TENDRÁ DENTRO DE 36,000 AÑOS.

La figura 199 muestra la forma de la Osa Mayor en la actualidad y la que tendrá dentro de 36.000 años.

ARTÍCULO III.

DIFERENTES CLASES DE ESTRELLAS.

433. ESTRELLAS DE COLOR.—Una de las más notables particularidades que pueden observarse en las estrellas es su variedad de colores. Al apreciarlos hay necesidad de proceder con mucha circunspección, pues existen varias causas, que pueden inducir á error. Tales son la vista del observador, la falta de acromatismo en los instrumentos empleados, el contraste de los colores, etc., etc. Sin embargo,

los Astrónomos han vencido y superado todas las dificultades con que tropiezan, y hoy es de todo punto indudable y está perfectamente comprobado que las estrellas brillan con luz propia y matizada de los preciosos tintes del arco-iris. A la verdad, no hay más que observar estos astros de diferentes colores, para quedar entusiasmado ante la admirable fábrica del Universo, y rastrear algo de la infinita hermosura de su Creador, de Dios nuestro Señor. El cuadro siguiente, en el cual hemos reunido algunas de estas estrellas, dá á conocer este punto con más elocuencia de lo que nosotros pudiéramos hacerlo.

Estrellas de color.		
NOMBRES.	Magnitudes.	COLORES.
δ Andrómeda	3,2	Anaranjado
β Idem	2,2	Rojizo
R Escultor	Var.	Anaranjado rojizo
ο Ballena	>	Rojo rubí
α Idem	2,6	Anaranjado
Aldebaran	1,0	Anaranjado rojizo
R Liebre.	Var.	Rojo de sangre
Betelgeuse	1,0	Anaranjado rojizo
Sirio	>1,0	Blanco azulado
η Perro mayor.	2,5	Púrpura
ν Osa mayor	3,5	Amarillo de oro
δ Copa	3,3	Amarillo rojizo
ι Virgen	5,5	Rojizo
Arturo	1,0	Amarillo de oro
β Balanza	2,9	Verdoso
β Osa menor	2,2	Amarillo de oro fundido
R Corona Boreal	Var.	Variable
Antares	1,0	Rojo fulgurante
β Hércules	2,8	Amarillo de oro
γ Dragón	2,5	Anaranjado vivo
Wega	1,0	Azulado
γ Cisne	Var.	Variable
β Pegaso.	2,5	Amarillo de oro
ς Cefeo	3,4	Anaranjado pálido

434. ESTRELLAS DOBLES: SUS CLASES.—Otro descubrimiento notabilísimo, debido á la perfección de los ins-

trumentos y métodos astronómicos modernos, es sin duda alguna el de las estrellas *dobles*, *triples* y *múltiples*. Han comprobado estos instrumentos y métodos que muchas estrellas, que á la simple vista aparecen *únicas*, no lo son realmente; antes bien, constituye cada una un grupo de dos ó más estrellas, las cuales, por la gran distancia á que se encuentran de nosotros y por la relativa proximidad en que ellas se hallan, aparecen á nuestra vista, como si fuesen una sola.

Pueden clasificarse en tres grupos: ópticamente dobles; telescópicamente dobles, y espectroscópicamente dobles.

Primer grupo. Se ha dado el nombre de estrellas *ópticamente dobles* á aquellas estrellas, que, apareciendo dobles, no lo son en realidad. Para hacerse cargo de este punto imaginense dos estrellas separadas entre sí por millones de kilómetros, pero situada una junto al rayo visual que vá del observador á la otra. El observador proyecta ambas estrellas sobre la esfera celeste, y es claro que, dada la enorme distancia que de ellas lo separa, ambas se presentarán como una sola á la simple vista. Observadas con un buen antejo ó telescopio aparecerán las dos, mas, como se encuentran casi en la misma línea de visión, se presentarán como una estrella doble. Por no serlo, y por presentarse como tal, se han llamado estas estrellas ópticamente dobles, las cuales son muy numerosas en la esfera celeste.

Segundo grupo. Estrellas *telescópicamente dobles* son aquellas que, presentándose como una sola á la simple vista, se duplican, esto es, aparecen dos, cuando se observan con buenos anteojos ó telescopios. Sucede en algunas estrellas que en vez de dos son tres, cuatro, etc., las que aparecen, por donde se ve, que existen en el Universo *sistemas binarios, ternarios* etc., de estrellas.

Cuando el sistema es binario la estrella más pequeña gira alrededor de la principal, aunque en muchos sistemas son ambas las que giran alrededor de un centro común de gravedad. El hecho es que las estrellas observadas describen sus trayectorias de un modo análogo á como lo hacen

los planetas de nuestro sistema; esto es, describen una elipse con arreglo á las dos primeras leyes de Kepler (núm. 19). La más pequeña suele llamarse *el compañero* de la principal. En el cuadro siguiente damos los datos de algunas estrellas dobles, cuyas órbitas han sido calculadas.

Órbitas de doce estrellas dobles.

Nombres.	Magnitud de las componentes.	Semieje mayor de la órbita.	Duración de la revolución (años)	Sentido del movimiento.
η Casiopea . . .	4 — 7	8", 33	202	Directo
γ Andrómeda . .	4 — 6	0 , 37	54	Retrógrado
Sirio	\sphericalangle 1—10	8 , 04	52	Id.
Castor	1—3	6 , 94	989	Id.
Procyón	1—0	1 , 05	40	Directo
γ León	2—3	1 , 98	407	Id.
γ Centauro	4—4	1 , 02	88	Retrógrado
γ Virgen	3—3	3 , 99	194	Id.
α Centauro	1—2	17 , 70	81	Directo
δ Cisne	3—7	2 , 39	377	Retrógrado
β Delfín	3—4	0 , 67	28	Directo
ϵ Cisne	5—5	29 , 48	783	Id.

Obsérvase también en muchos sistemas binarios que las dos estrellas de que se componen son de diversos colores. Cuánta sea la belleza de estos sistemas, no hay para que decirlo, pues basta enunciar la idea de su existencia, para percibirla. Por la misma razón, renunciamos á describir los juegos de luz en los paisajes y los preciosos matices con que se pintarán los objetos, si alrededor de esos astros circulan planetas, como alrededor de nuestro Sol, cuando estos planetas tengan sobre su horizonte ambas estrellas. En el cuadro siguiente hemos reunido algunos de estos hermosos sistemas. Advertimos, por último, que hay entre las estrellas de color unas que varían de color, al variar de magnitud, y otras que, sin variar de brillo, varían de color. Como se comprende fácilmente es un espectáculo verdaderamente delicioso el que se observa, al seguir las variaciones de color de estas misteriosas estrellas.

Estrellas dobles de color.

NOMBRES.	Magnitud de las componentes.	COLORES.
η Casiopea	4 — 7	Amarillo—Púrpura
γ Andrómeda	2 — 5	Anaranjado—Verde
α Peces	3 — 4	Sistema muy bello
η Perseo	5 — 8	Amarillo—Azul de cielo
Rigel	1 — 9	Amarillo pálido—Id.
ι Cáncer	4 — 6	Id — Azul
24 Cabellera de Berenice.	5 — 7	Anaranjado—Lila
ξ Boyero	4 — 6	Id. — Púrpura
ζ Corona	4 — 5	Blanco—Azul
α Hércules	3 — 5	Rubí—Esmeralda
95 Hércules	5 — 6	Amllo. de oro—A. de cielo
\omicron Dragón	4 — 8	Id. — Lila.
γ Delfín	3 — 5	Topazio—Esmeralda
Cisne	5 — 8	Amarillo—Azul de cielo
δ Cefeo	3 — 4	Anaranjado—Azul
π Cefeo	5 — 10	Id. — Púrpura
σ Casiopea	5 — 7	Verdoso—Azul
δ Hércules	3 — 8	Blanco—Violeta
ϵ Boyero	2 — 6	Amarillo de oro—Zafiro
17 Virgen	6 — 9	Rosas

Tercer grupo.—Son estrellas *espectroscópicamente dobles* aquellas estrellas cuyas componentes están tan próximas, que no pueden separarse por visión directa, ni aún con los mejores anteojos y telescopios, y cuya existencia ha sido revelada por la espectro-fotografía. Este descubrimiento, obtenido por Pickering, muestra todo el valor y toda la fecundidad que encierra el principio ya indicado para las velocidades radiales (núm. 431). Aplicando este principio al caso presente, “se vé claramente, como dice G. Towne, que si dos componentes, que tengan dimensiones semejantes y dos espectros idénticos, giran una alrededor de la otra en una órbita circular, cuyo plano encuentra al Sol, los dos espectros aparecerán alternativamente confundidos ó separados, según la composición de las componentes; confundidos, cuando las dos componentes están en la dirección del

rayo visual y separados en los demás casos. Se observará, pues, en la placa fotográfica no solamente la dislocación y desviación de las rayas espectrales, sino también la duplicación de una misma raya á determinados intervalos, como lo ha demostrado un minucioso examen de Pickering con relación á la raya K (calcium) en el espectro de la estrella ϵ de la Osa Mayor; pues, como dice el ya citado G. Towne “esta raya se presentaba á Pickering como doble con intervalos de 52 días, correspondientes á un período de revolución de 104 días; la separación máxima de la raya K correspondía á una diferencia de velocidad entre las dos componentes de unos 105 kilómetros por segundo y este par formaba una masa igual á 40 veces la de nuestro Sol.”

Por lo demás, las estrellas de este grupo son de dos clases; la primera consta de una estrella brillante y un compañero oscuro, como son Algol y la Espiga; y la segunda de dos estrellas brillantes, pero tan próximas que solamente por este procedimiento espectro-fotográfico pueden reconocerse, como son ϵ de la Osa Mayor, β del Cochero y otras.

Lo consignado acerca de la espectro-fotografía es suficiente para darse cuenta del campo inmenso que se ha abierto ante los Astrónomos, y de esperar es que sus trabajos sean coronados con los más importantes descubrimientos. No ha de olvidarse que estos estudios no están muy adelantados y por tanto que muchas observaciones necesitan ser comprobadas ó rectificadas por otras más delicadas y precisas.

435. ESTRELLAS VARIABLES.—Se ha dado el nombre de *estrellas variables* á aquellas cuyo brillo aumenta y disminuye en un tiempo más ó menos largo. Pueden dividirse en dos grupos: aquellas cuyas variaciones son regulares; y aquellas que varían irregularmente. Entre las primeras las hay de período corto y de período largo.

Como tipo de las estrellas que varían regularmente y en un período corto suele presentarse β de Perseo (Algol). Esta estrella varía en un período de 2 días, 20 horas y 48

minutos. Supóngase que se observa en el momento de alcanzar su brillo máximo: en este momento es de 2.^a,3 magnitud; permanece así durante 2 días y 14 horas próximamente, y al pasar este tiempo pierde rápidamente su brillo, quedando de 3.^a, 5 magnitud. Entonces comienza á aumentar de nuevo, empleando unas 6 horas en alcanzar nuevamente la 2.^a, 3 magnitud.

La regularidad de estas variaciones hizo que los Astrónomos las atribuyesen á la interposición de un satélite oscuro que girase alrededor de la estrella; hipótesis que, como hemos visto en el número anterior, está demostrada por la espectro-fotografía.

Como tipo de las variables de largo periodo suele presentarse la estrella α de la Ballena (Mira ceti). Su periodo total es de unos 334 días. Si la suponemos en el momento de alcanzar su brillo máximo es de 3.^a, 3 magnitud (á veces llega á 2.^a). Comienza á disminuir y á los tres meses se hace invisible á la simple vista, siendo su brillo mínimo de 8.^a á 9.^a magnitud por regla general (á veces llega á la 12.^a). Desde el momento de hacerse invisible á la simple vista hasta que se hace de nuevo visible emplea unos 5 meses; al aparecer su brillo aumenta constantemente, hasta que á los 3 meses alcanza de nuevo su brillo máximo.

Las variaciones de esta clase de estrellas las explican los Astrónomos, suponiendo que en ellas se realizan erupciones de gases y vapores y se forman manchas gigantescas en su superficie, todo análogo á lo que hemos estudiado en el Sol. *L' Annuaire du Bureau des Longitudes*, trae unos estados con esta clase de estrellas.

436. ESTRELLAS NUEVAS Ó TEMPORALES.—Con el nombre de *estrellas nuevas ó temporales* se designan unas estrellas que se presentan en el Cielo, brillan por regla general vivamente y después se extinguen progresivamente. La primera de que se tiene noticia es la que apareció en tiempo de Hiparco, circunstancia que movió á este Astrónomo á redactar su catálogo estelar.

La más notable quizá de todas las observadas es la que

apareció en tiempo de Tycho-Brahe, observada por este Astrónomo (1572). Brilló tanto que en pocos días sobrepujo á Venus y pudo percibirse durante el día. Así permaneció próximamente un mes, al cabo del cual comenzó á decrecer, desapareciendo por último en 1574.

Mencionaremos para terminar este punto la aparecida en 1892 y observada en Febrero por T. D. Anderson. Esta estrella alcanzó la 4.^a magnitud, desapareciendo poco después. Reapareció en Agosto del mismo año y llegó á alcanzar la 9.^a magnitud.

437. ESTRELLAS NEBULOSAS.—Se llaman *estrellas nebulosas* aquellas estrellas que están rodeadas de cierta nebulosidad que no han podido resolver los anteojos más potentes. Su número es muy exiguo.

ARTÍCULO IV.

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRELLAS POR EL ESTUDIO DE SUS ESPECTROS.

438. CLASIFICACIÓN DEL P. SECCHI.—Después de varios trabajos y publicaciones parciales sobre los espectros estelares, el P. Secchi, basándose en los caracteres de los mismos, dió á conocer en 1867 una clasificación de las estrellas en cuatro clases, correspondientes á otros tantos tipos perfectamente definidos, advirtiendo que algunos espectros, pocos en número, en vez de formar claramente en una de estas categorías, parecen ser términos intermedios. El descubrimiento de estos tipos estelares se atribuyó por algunos á Rutherford, pero el P. Secchi lo vindica como suyo en su obra *El Sol* (1). Vamos á dar una idea de esta clasificación.

Primer tipo. Corresponde el primer tipo estelar á las estrellas llamadas *blancas* aunque en realidad sean algo

(1) Tom. 2.º, pág. 464.

azuladas. El espectro de este tipo está formado por los siete colores ordinarios del iris, interrumpidos por cuatro líneas oscuras muy marcadas; la 1.^a en el rojo, la 2.^a en el azul y las 3.^a y 4.^a en el violado. Estas cuatro rayas son las correspondientes al hidrógeno, coincidiendo en el campo espectral con las más brillantes de este gas, cuando se eleva á gran temperatura. Además de estas rayas encuéntranse en los espectros de las estrellas más brillantes de este tipo una raya muy fina en el amarillo, la cual parece coincidir con la del sodio, y otras más débiles en el verde, las cuales corresponden al hierro y al magnesio. La falta de luz hace que sea difícil ver en el espectro de las estrellas pequeñas de este tipo la raya del rojo, pero en cambio la del azul es á veces más ancha.

Pertenece á este primer tipo las estrellas más brillantes del cielo: tales son Sirio, Wega, Régulo, Rigel, la Espiga, Altair, Castor y las de la Osa Mayor, á excepción de α . Comprende la mitad próximamente de las estrellas observadas.

Segundo tipo. El segundo tipo es el de las estrellas *amarillas*. El espectro de las estrellas de este tipo es perfectamente semejante al de nuestro Sol: está, pues, formado por numerosas rayas oscuras, muy finas, muy compactas, y colocadas sobre los colores del iris en la misma posición que las del espectro solar. Comprende este tipo las dos terceras partes de las estrellas observadas restantes, después de segregadas las del tipo primero, y son sus principales modelos la Cabra, Pollux, Aldebaran, Arturo, Procyón, γ del Leon, α de la Osa Mayor, etc.

Tercer tipo. El tercer tipo es el de las estrellas *anaranjadas y rojas*. El espectro de las estrellas que comprende es muy singular y extraordinario. Compónese de un doble sistema de bandas nebulosas y de rayas oscuras, que dividen todo el espectro, y forman como una especie de columnata. Es notable entre estas estrellas σ de la Ballena: su espectro varía, al variar su brillo, afectando su columnata una forma acanalada, al alcanzar la estrella su intensidad máxima.

Las estrellas de este tipo no son muy numerosas: cuéntanse entre otras α de Hércules, Antares, α de Orión, α de la Hidra, α y σ de la Ballena, δ de la Virgen y β de Pegaso; etc.

Cuarto tipo. El cuarto tipo corresponde á unas estrellitas muy rojas, de color de sangre. Sus espectros son aun más singulares y extraordinarios que los correspondientes á las estrellas del tercer tipo. El espectro modelo está formado de tres zonas fundamentales: amarilla, verde y azul. Estas zonas no pueden reducirse al tipo precedente, porque, á pesar de coincidir bastante bien algunas líneas oscuras, la distribución de la luz es completamente distinta: algunas estrellitas presentan además un indicio de zona roja, pero este color es más oscuro y difícil de examinar. Las pocas estrellas que comprende este tipo son inferiores á la sexta magnitud.

Además de estos cuatro tipos principales el P. Secchi menciona en particular otros grupos de estrellas. Uno de ellos es el de la constelación de Orión: corresponde, dice, al segundo tipo por la finura de sus líneas, pero al mismo tiempo es muy notable por la carencia casi completa del rojo y del amarillo. Todas las estrellas de esta región, añade, ofrecen dos caracteres: 1.º, tienen un matiz verde muy pronunciado; 2.º, son tan finas las rayas de sus espectros que frecuentemente es difícil separarlas. Por el contrario, las regiones de la Ballena y del Eridano encierran gran número de estrellas amarillas.

Concluye su estudio el P. Secchi haciendo notar que hay una quinta clase de estrellas, muy poco numerosa, que dan el espectro directo (de emisión) del hidrógeno. Tales son γ de Casiopea y β de la Lira: la primera presenta también la raya, correspondiente al *helium*, que mencionamos, al hablar del Sol.

439. CLASIFICACIÓN DE VOGEL.—Vogel clasifica las estrellas por los caracteres de sus espectros en tres clases, que á su vez subdivide, señalando las subdivisiones con las primeras letras minúsculas del alfabeto.

Clase 1.ª Estrellas blancas ó azules. Los espectros de

estas estrellas se caracterizan por ser muy débiles, ó invisibles las rayas metálicas, pero en cambio son muy marcadas las correspondientes al hidrógeno Esta. clase de estrellas es la más numerosa.

a. Las rayas del hidrógeno son muy fuertes, especialmente en la región ultra-violada; las rayas metálicas débiles. Tales son las estrellas Sirio, Wega, etc. (Corresponden al 1.^{er} tipo del P. Secchi).

b. Las rayas del hidrógeno no existen y las metálicas son poco marcadas. Comprende las estrellas brillantes de Orión, excepción hecha de Betelgeuse.

c. Las rayas del hidrógeno son muy brillantes. Comprende á γ de Casiopea y á β de la Lira. (Corresponden al 5.^o tipo del P. Secchi).

Clase 2.^a Estrellas amarillas. Los espectros de estas estrellas abundan en rayas metálicas, muy visibles, siendo análogas á las de nuestro Sol.

a. Espectros con numerosas rayas metálicas, especialmente en la región amarilla y verde. Las rayas del hidrógeno se manifiestan, aunque no con tanta intensidad como en la clase 1.^a. Pertenecen á este grupo la Cabra, Aldebaran etc. (Corresponden al tipo 2.^o del P. Secchi).

b. Espectros con numerosas rayas brillantes, algunas bandas débiles y rayas oscuras. Comprende este grupo las estrellas nuevas ó temporales observadas.

Clase 3.^a Estrellas anaranjadas ó rojas. Los espectros de estas estrellas presentan rayas metálicas y numerosas bandas oscuras en toda la extensión del campo espectral, siendo muy débiles el azul y el violado.

a. Espectros con bandas: las más notables están en el violado. Comprende este grupo α de Orión, α de Hércules, etc. (Corresponden al 3.^{er} tipo del P. Secchi).

b. Espectros con bandas muy anchas, estando un poco

debilitadas las principales hácia la región violácea. (Corresponden al 4.º tipo del P. Secchi.)

ARTÍCULO V.

EL SOL Y LAS ESTRELLAS.

440. CONSTITUCIÓN DE LAS ESTRELLAS.—Lo consignado en los artículos anteriores es suficiente para que se haya percibido con toda claridad que las estrellas son astros que brillan con luz propia, que su estado físico es el gaseoso, que sus elementos químicos son los observados en el Sol y analizados en la Tierra y que en ellas se producen actualmente grandes erupciones de gases y vapores metálicos incandescentes, entre los cuales merecen mencionarse el hidrógeno, el sodio, el magnesio y el hierro.

441. ANALOGÍAS ENTRE EL SOL Y LAS ESTRELLAS.—Es verdaderamente notable por más de un concepto comparar entre sí los datos obtenidos sobre el Sol y sobre las estrellas. A continuación hacemos notar algunas de las analogías que entre estos astros existen:

- 1.^a El Sol y las estrellas brillan con luz propia.
- 2.^a Se encuentran en el mismo estado físico.
- 3.^a Poseen los mismos elementos químicos.
- 4.^a Se mueven con movimientos propios al través del espacio.
- 5.^a Demuestra el cálculo que si el Sol se transportase á una distancia de la Tierra igual á la de α del Centauro se presentaría como una estrella de 3.^a magnitud. En cambio se ha obtenido por medidas fotométricas que si α del Centauro se colocase á una distancia de la Tierra, igual á la del Sol, su brillo sería 4 veces mayor que el del Sol. Sirio á la misma distancia brillaría 70 veces más que nuestro lumínar mayor.

Podemos, pues, afirmar en vista de estas analogías y de otras que omitimos, que *las estrellas son soles* y que *el Sol es una estrella*.

CAPÍTULO II.

NOCIONES SOBRE LAS NEBULOSAS.

Supuestas las nociones que hemos dado sobre las estrellas en el capítulo precedente, no nos queda, sino emitir ligeramente en el presente algunas ideas sobre las nebulosas.

442. CONCEPTO GENERAL DE LAS NEBULOSAS: SU CLASIFICACIÓN.—



FIG. 200.—ASPECTO DE LA NEBULOSA DEL TORO, SEGÚN LORD ROSSE.

—Se dá en general el nombre de *nebulosas* á unas manchas blanquecinas, difusas y de formas variadas que se observan en varias regiones de la esfera celeste (Fig. 200). Se clasifican en nebulosas *resolubles* é *irresolubles*. Son nebulosas resolubles las que observadas con poderosos instrumentos se presentan como una gran aglomeración de estrellas. Nebulosas irresolubles son las que siempre presentan el mismo aspecto, cualquiera que sea la potencia del instrumento empleado: son nebulosas propiamente dichas.

443. NEBULOSAS RESOLUBLES Y CÚMULOS ESTELARES.— Hemos dicho antes (número 434) que hay estrellas múlti-

ples. Cuando el número de las estrellas es muy numeroso, se dice que forman una *aglomeración* ó *cúmulo de estrellas*. Véase, pues, que entre un cúmulo estelar y una nebulosa resoluble no hay diferencia esencial.

Si alguna quisiera indicarse, sería necesario recurrir á circunstancias exteriores, como, la mayor ó menor facilidad de resolver la nebulosa; la mayor ó menor distancia angular entre las estrellas; el mayor ó menor número de estas, etc. etc.

Un cúmulo estelar que está al alcance de todas las observaciones es el de las Pléyades ó Cabrillas (núm. 95). Compónese de unas 6 estrellas, visibles á la simple vista, pero observadas con un buen instrumento llegan á 400.

La vía láctea de la cual hemos ya hablado (núm. 97) no es, sino una nebulosa resoluble, en la que se cuentan las estrellas por millones. Su forma sería, según Herschel, la de una lenteja, en la cual nuestro Sol, que es una de sus estrellas más comunes, ocuparía un lugar muy próximo al centro.

Cuando se observan las nebulosas resolubles del Centauro y de Hércules con buenos instrumentos, se presentan como cúmulos estelares, en los cuales las estrellas son casi innumerables, y afectando las formas de la figura 201. Di-

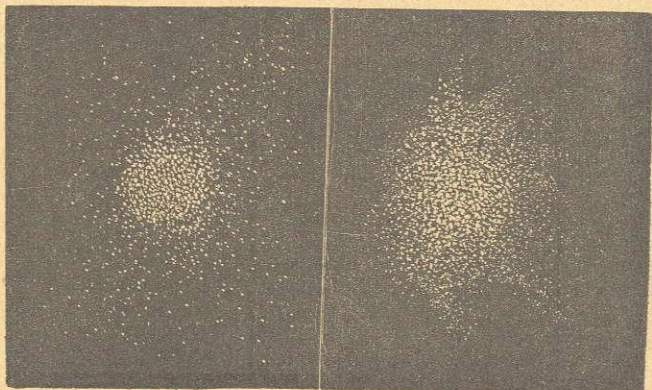


FIG. 201. — CÚMULOS ESTELARES.

riase que constituyen mundos aislados, en los cuales pululan las estrellas, de un modo análogo á como pululan en

la vía láctea, y cada una sola, ó con su sistema, concurriendo á la armonía general.

Estos cúmulos estelares y nebulosas resolubles son muy numerosos y se encuentran diseminados en el espacio en todas las direcciones.

444. NEBULOSAS IRRESOLUBLES.—Las nebulosas irresolubles son las verdaderas nebulosas. De aspecto análogo al de las nubes de nuestra atmósfera, y de formas muy variadas, ya regulares, ya irregulares y caprichosas, se encuentran diseminadas por todo el Cielo en tan gran número que hoy están ya catalogadas más de 10.000.



FIG. 202.—NEBULOSA ANULAR
DE LA LIRA

Atendiendo á su forma externa suelen dividirse en *ovales ó elípticas*, como la de Andrómeda, visible en algunas ocasiones á la simple vista; *anulares*, como la de la Lira (Fig. 202); *espirales*, como la de los Lebres-

les; *irregulares*, como la magnífica de Orión y la del Toro (Fig. 200), y *planetarias*, esto es, *redondas*, como las que presentamos en la figura 203.

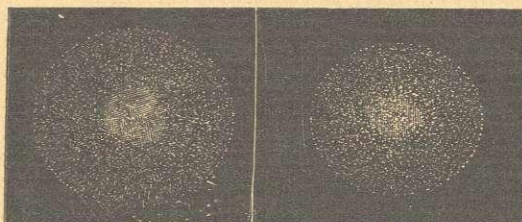


FIG. 203. - NEBULOSAS PLANETARIAS

Atendiendo al estado de condensación en que está su materia, ya las dividía Herschelen *planetarias*, en las que es imposible hallar núcleo algu-

no; *estelares*, en las que se encuentran núcleos sensibles, y *estrellas nebulosas*, en las cuales, como hemos dicho antes (núm. 437), se observa una estrella, rodeada de una nebulosidad, cual si fuese una atmósfera, que rodease á un astro brillante.

445. NATURALEZA Y CONSTITUCIÓN DE LAS NEBULOSAS.—

El estudio del espectro que producen las nebulosas ha dado á conocer mejor que los anteojos y telescopios su naturaleza y constitución. Lo mismo los cúmulos estelares que las nebulosas resolubles dan un espectro continuo con rayas oscuras. En cambio las nebulosas propiamente dichas, como la de la Lira, de Orión, etc., ofrecen espectros discontinuos, esto es, dan un espectro, caracterizado por ciertas rayas brillantes, de donde se deduce que están formadas por gases incandescentes. Hemos de advertir que unas cuantas, como la de Andrómeda y las de la Virgen, presentan un espectro continuo, lo cual indica, que estas nebulosas están compuestas de estrellas, que no se puedan separar con los anteojos. Resulta, por consiguiente, que el procedimiento mejor y más seguro para distinguir con facilidad las nebulosas resolubles de las irresolubles es el estudio atento y detenido de sus espectros. En cuanto á los elementos químicos de que se componen ha podido identificarse el hidrógeno, y casi identificarse el nitrógeno, el plomo y el hélium.

CONCLUSION

Hemos llegado, gracias á Dios, al fin de nuestro trabajo. Después de haber dado las ligerísimas nociones que preceden sobre la Ciencia Astronómica, no queremos dejar sin contestar, aunque sea también ligeramente y de un modo general, á dos preguntas que naturalmente se presentan al espíritu: ¿Cómo se ha formado este vasto y hermoso Universo? ¿Están habitados los astros que lo constituyen?

§ I.—*Hipótesis sobre la formación del Universo.*

Partiendo de lo que hemos dicho en el número 144 sobre la división que hacia Herschel de las nebulosas, es muy facil hacerse cargo de su hipótesis sobre la formación del Universo. Creía este Astrónomo que las *nebulosas planetarias* eran grandes masas de materia muy enrarecida é incandescente, las cuales, condensándose poco á poco alrededor de los puntos más densos, se convertían en *nebulosas estelares*, y estas, en virtud de nuevas condensaciones, en *estrellas nebulosas*.

Aparte de esta teoría sobre la formación de las estrellas Herschel, siguiendo las ideas de Kant y de Lambert, suponía que el Universo entero estaba constituido por un número prodigioso de cúmulos estelares, los cuales forman grupos aislados, mundos separados, gigantescos sistemas, teniendo cada uno numerosísimas estrellas, que obedecen y se rigen por leyes desconocidas.

La vía láctea no es, como hemos dicho, sino uno de es-

tos cúmulos, grupos ó sistemas gigantescos: su forma es lenticular, y su espesor mucho menor que su diámetro. Nuestro Sol es una de sus ordinarias estrellas y ocupa una posición próxima á su centro.

Kant, que antes que Herschel había emitido casi las mismas ideas sobre la constitución del Universo, emitiólas también sobre la formación del sistema solar.

Para el filósofo de Koenisberg, que tan perniciosas direcciones había de marcar más tarde en el campo de la Filosofía con la publicación de sus *Críticas*, la materia que hoy está condensada en los astros del sistema solar llenaba antes todo el espacio, que ocupa este sistema, en un estado de sumo enrarecimiento.

A causa de la gravitación hácia los centros más densos y de choques más ó menos excéntricos, las partículas de la nebulosa estaban en continuo movimiento de rotación, el cual, comunicado á toda la masa, produjo un achatamiento en los polos, formándose entonces un gigantesco elipsóide con núcleos parciales. Estos núcleos, condensándose más y más y atrayendo las partículas próximas que estaban más enrarecidas, constituyeron *los planetas*. De un modo análogo explicaba la formación de los *satélites*. Los *anillos* de Saturno han tenido, según él, una formación diversa, pues á causa del excesivo calor desarrollado por el planeta, se elevó esta masa, que hoy observamos con forma anular.

Las anteriores ideas de Kant fueron más tarde desarrolladas por Laplace, y aunque ambas concepciones tienen varios puntos de contacto, difieren sin embargo en otros.

El matemático francés comienza su exposición, suponiendo el movimiento de rotación del *Globo único primitivo*. Este globo, constituido por toda la materia que hoy forma los astros del sistema solar, no era sino una nebulosa de las llamadas *estelares* por Herschel: su temperatura era elevadísima y su estado el de un gas muy enrarecido. Al enfriarse esta nebulosa por su constante irradiación térmica hácia los espacios inter-estelares, su materia se condensaba, su velocidad de rotación aumentaba, y con este aumento se producía un desarrollo de fuerza centrífuga, que llegó en último término á equilibrar la fuerza centripeta. Al llegar este mo-

mento desprendióse por el ecuador del Globo primitivo una *zona ó anillo* de gases y vapores incandescentes y enrarecidos, que siguieron moviéndose del mismo modo y en el mismo sentido que la nebulosa de donde se habían desprendido, pero independientemente de ella. Estas zonas ó anillos produjeron, al condensarse, los planetas, los cuales dieron lugar más tarde á que de ellos se desprendiesen otros anillos, que han quedado con su forma anular como se observa en Saturno, ó condensándose á su vez se han convertido en *satélites*.

La concepción de Laplace, expuesta en su obra *Exposición del sistema del mundo*, adquirió mayor celebridad que la del filósofo alemán, y tanto entusiasmo produjo en los hombres de ciencia, sobre todo cuando se probó por el análisis espectral que los elementos químicos de los astros eran los conocidos en la Tierra y cuando se conocieron los experimentos de Plateau (núm. 216), que el P. Secchi pudo escribir en su obra *El Sol* (1): “Actualmente se hallan de acuerdo *todos los hombres de ciencia* en admitir que nuestro sistema solar fué producido por la condensación de una nebulosa que se extendía en otros tiempos más allá de los límites ocupados actualmente por los planetas más remotos.”

No parecen hoy tan favorables á esta hipótesis las ideas de los Astrónomos. Cierto que se halla expuesta en casi todos los libros, pero cada uno le opone algunas dificultades y, aunque otros tratan de comprobarla hasta con el cálculo, el hecho es que la mayor parte está conforme en que la *hipótesis de Laplace* no explica algunos pormenores del sistema solar, como son, el sentido y la velocidad de los movimientos de algunos planetas y satélites, el estado físico y la distancia de unos planetas á otros, la misma producción de los anillos, que más bien hubieran constituido un disco gigantesco y sutil, etc. etc.

Así es que, mientras unos Astrónomos han tratado de sustituirla por otra hipótesis, otros han procurado completarla, esto es, conservando la idea fundamental de la nebulosa primitiva y de su gradual condensación, modificarla convenientemente á fin de que puedan explicarse todos los

(1) Tom. 2.º, pág. 499.

pormenores del sistema solar. En la primera dirección hemos de mencionar á Faye, quien ha tratado de sustituirla por su hipótesis de *“las variaciones de las leyes de la gravedad”*, y en la segunda los PP. Braun y Müller de la Compañía de Jesús, quienes, refundiendo las hipótesis de Kant y de Laplace, parece que dan cuenta y explicación de todos los hechos observados.

Véase cómo se expresa el P. Müller: “Concediendo que la formación de un anillo separado no sea condición previa indispensable para la formación de un planeta; suponiendo con Kant que la nebulosa primitiva, ya por la adquisición de materia extraña, ya por cualquiera otra razón, no era perfectamente homogénea por toda la inmensidad del espacio que necesariamente ocupaba, sino que presentaba núcleos aquí y allá más densos, no será tan difícil dar cuenta suficiente de todas las anomalías que se presentan.” (1)

§ II. — *Consideraciones sobre la habitabilidad de los astros.*

Con el objeto de proceder en este punto con toda claridad distinguiremos cuidadosamente la cuestión de posibilidad de la cuestión de hecho.

Según nuestro entender, la posibilidad de que en los astros haya seres vivos abraza dos extremos: 1.º posibilidad en general; esto es, posibilidad de seres vivos sin que se determine cuál sea su especie ó naturaleza; 2.º posibilidad de seres vivos semejantes á los que existen en nuestro globo.

Considerada la cuestión de la habitabilidad de los astros desde el primer punto de vista, ó sea, de su posibilidad en general, sin que se determine qué clase de seres sean, cuál su naturaleza ó especie, cuáles sus facultades y cuáles sus organismos corpóreos, si los tuviesen, nosotros creemos que debe resolverse de un modo afirmativo. La Religión Católi-

(1) *Compendio di Astronomia*, pág. 809. A continuación del párrafo, que hemos traducido arriba, explica el P. Müller todos los hechos observados en el sistema solar.

ca y sus dogmas venerandos no tienen nada que temer de esta afirmación; antes, por la inversa, cabe perfectamente dentro de las verdades reveladas y está muy conforme con los principios de la verdadera Filosofía y de la sana razón.

En efecto; los seres que pueden vivir no están todos en la escala que nosotros conocemos en la Tierra, y que abraza desde la planta que vive con la más rudimentaria vida vegetativa hasta el hombre dotado de razón y de voluntad libre. Pruébese esta última afirmación por los más elementales principios de la Filosofía Católica relativos á la Creación. Dios, dice esta Filosofía, encierra en su divina inteligencia una infinidad de ideas arquetipas como modelos perfectísimos y únicos de todos los seres, vivos y no vivos, que han sido y son actualmente, y de otros en número infinito que no han sido. Para que estos últimos surgiesen de la nada y viniesen al concierto de la Creación solamente se necesitaría el mandato de Dios, quien *libremente* puede llamarlos á la existencia, y hacerlos llenar los numerosísimos astros que gravitan por las profundidades del espacio, adaptándolos perfectamente á las condiciones de sus moradas.

La afirmación de que los seres que pueden vivir no están todos en la escala que nosotros conocemos en la Tierra, se halla además comprobada por lo que nos dice la Iglesia Católica sobre los Angeles. Existen, dicen los Libros Santos, millares de millares de Angeles que sirven al Señor (1). Estos Angeles son espíritus puros, inteligentes y libres; no están destinados como el alma humana á informar un cuerpo orgánico, y su manera de entender no es por discurso, sino por intuición (2): por todo lo cual se vé claramente que no ca-

(1) Millia millium ministrabant ei, et decies millies centena millia assistebant ei (Daniel, cap. VII, ver. 10).

Et vidi et audivi vocem Angelorum multorum in circuitu throni... et erat numerus eorum millia millium. (Apocalipsis, cap. V, ver. 11) Santo Tomás de Aquino llega á decir que su número excede al de las sustancias materiales casi incomparablemente. (Pars I, quaest. L, art. III).

(2) Véase á Santo Tomás de Aquino en la Suma Teológica, parte primera, cuestiones 50 á 60, y en especial el artículo 1.º de la cuestión 51, el 3.º y 4.º de la 58 y el 1.º, 2.º y 3.º de la 59.

ben dentro de la escala de seres vivos que vemos en la Tierra.

Luego la posibilidad de que en los astros haya seres vivos, considerada esta posibilidad en general, no se opone á la divina revelación, ni á la sana razón; y dicho sea de paso, hay muchos católicos, que se complacen en pensar que mientras aquí en la Tierra se empeñan los hombres en negar á Dios sus derechos y su dominio universal sobre todos los seres, incluso el mismo hombre, allá en los astros los seres inteligentes que los pueblan cantan y ensalzan las grandezas y excelencias de su Creador. “¿Qué hemos de decir, escribe á este propósito el P. Secchi (1), de estos inmensos espacios y de los astros que los ocupan? ¿Qué pensar de esas estrellas, que sin duda son, como nuestro Sol, centros de luz, de calor y de actividad, destinadas como él á sostener la vida de una multitud de criaturas de todas clases? Por nuestra parte creemos absurdo considerar tan vastas regiones como desiertos inhabitados; deben estar pobladas de seres inteligentes y racionales, capaces de conocer, honrar y amar á su Creador; y quizá los habitantes de estos astros sean más fieles que nosotros á los deberes que el reconocimiento les impone hacia Aquél que los sacó de la nada; tal vez, y así lo creemos, no haya entre ellos de esos infortunados seres que cifran su orgullo, en negar la existencia y la inteligencia de Aquél á quien deben la suya propia y la facultad de admirar tantas maravillas.”

No es tan fácil resolver la cuestión de si es posible que existan en los astros seres semejantes á los que existen en la Tierra, esto es, si pueden vivir en los astros plantas, animales y hombres semejantes á los que habitan nuestro globo. Sabido es que en esta Tierra que habitamos los seres dotados de vida se encuentran esparcidos de una manera prodigiosa y admirable: se los encuentra en la tierra, en el aire y en el agua, existen bajo los ardientes rayos de un Sol tropical y en las heladas regiones de las zonas glaciales; pululan por millones los animalillos microscópicos; desarróllanse algu-

(1) *El Sol*, tom. 2.º, pág. 499.

nas en las plantas y aún en los cuerpos de otros animales; en una palabra, allí nace y vive un ser, donde encuentra las condiciones de habitabilidad necesarias y suficientes para que pueda vivir. Ahora bien; ¿se dan estas condiciones en algun astro del firmamento? Pues si se dan, en él es posible la vida de seres semejantes á los que se encuentran en la Tierra, no siendo necesario para su existencia sino la voluntad de Dios que haya querido crearlos allí, como los ha creado en la Tierra.

Y ¿qué nos dice la Astronomía sobre la existencia de estas condiciones? Sin duda alguna estas condiciones no existen en el Sol ni en las estrellas á causa de su estado gaseoso é incandescente. No existen probablemente tampoco en Urano y Neptuno por la gran distancia á que se encuentran del Sol, que es el foco de donde proceden el calor y la luz que dichos planetas reciben; tampoco en Saturno y Júpiter, por encontrarse, como dijimos al hablar de ellos, en vias de formación, ni por último en Mercurio por su proximidad al astro del día. Nada digamos de la Luna en cuya superficie es imposible la vida de los seres de que tratamos, por no existir en ella agua ni aire. Quedan por consiguiente Venus y Marte. Respecto de Venus, como no sabemos con certeza la duración de su rotación, no puede tampoco deducirse nada con visos de verdad. Con relación á Marte bien puede decirse que sus condiciones climatológicas y físicas son más parecidas que las de los demás planetas á las de la Tierra y por consiguiente que quizá sea posible la vida en su superficie. “Cuanto mas se aproxima uno, dice M. Faye (1), al dominio de las ciencias naturales, del cual nosotros nada pretendemos usurpar, tanto más vé reducirse las condiciones de la vida orgánica, aun en sus grados inferiores... Muy lejos de poder admitir *a priori* que ellas se encuentran naturalmente realizadas en todas partes, apenas pueden citarse, fuera de la Tierra, dos planetas de nuestro sistema en que ellas sean solamente un tanto probables; y el único globo

(1) Disertación publicada en el *Anuario du Bureau des Longitudes* (Paris, 1874); citado por el Abate Moigno en *Los esplendores de la Fé*, tom. 3.º, pág. 381.

sobre el cual sea permitido pronunciarse con una entera certeza, la Luna, no posee ninguna.”

Pero no se olvide que hablamos de la posibilidad, no de la existencia. Admitida la posibilidad, puede negarse la existencia: esta no puede afirmarse sin que sea demostrada, pues no habiéndonos revelado el Señor si existen ó no estos seres, es necesario que el hombre lo indague, si quiere saber y conocer la verdad sobre esta materia.

Al llegar á este punto permítasenos que nos lamentemos de la extremada ligereza de algunos hombres que brillan en el campo de la Ciencia Astronómica, los cuales, deseando pasar de lo conocido á lo desconocido y atraídos por ese imán poderoso de conocer algo más, de descubrir una nueva verdad, no solo admiten la posibilidad, sino que afirman sin ninguna reserva la existencia de seres en los astros, pintándolos tal como pudieran hacerlo con los habitantes de una región terrícola; y ¡lo que es más sensible!, asegurando que la Doctrina Católica queda vencida por los argumentos de la Ciencia ¡Pobres ilusos! Ignoran por una parte ó aparentan ignorar que la Iglesia Católica no tiene nada que temer de la pluralidad de mundos habitados, aunque lo estuviesen por seres semejantes á los que habitan nuestra Tierra (1), y por otra están tan obcecados que creen poder combatir los dogmas católicos con un argumento que no es sino un tránsito de la posibilidad á la existencia, argumento que el más ínfimo de los alumnos de Lógica destruiría con decir, como tan frecuentemente se oye en las aulas: “*A posse ad esse non valet illatio.*”

Porque es necesario decirlo. Todavía no ha demostrado la Astronomía que los astros estén habitados. Hay, es cierto, y lo confesamos con gusto la posibilidad; quizá en algunos haya algo más, la probabilidad; pero ni la posibilidad, ni la probabilidad son la existencia. “Limitarse á decir lo que sabemos, escribe el P. Müller, y á inquirir lo que no sabemos, es sabiduría y prudencia; pero deducir una consecuencia más allá de los conocimientos actuales de las cosas sería audacia y quizá temeridad. El que sienta deleite en con-

(1) Véase entre otros á Perujo: *Pluralidad de mundos habitados ante la Fé católica.*

templar no solamente nuestro sistema planetario, sino todo el Universo estrellado lleno de organismos, de vida, de inteligencia, hágalo así; pero no se diga que esto sea un postulado absoluto de la Ciencia Astronómica., (1)

Por último, estén ó nó habitados los astros, es lo cierto que al observar los grandiosos fenómenos del Universo, al percibir el orden, la belleza, las admirables armonías que resplandecen en la Creación entera; al querer darse cuenta de tanta abundancia de ser, de vida y de hermosura, que conmueven hondamente al alma humana, esta, espíritu inteligente y libre, se encierra en su interior, en el santuario de su conciencia, y allí, traspasando los confines de la Astronomía y elevándose sobre toda la Creación, reconoce que todo este hermoso Universo, con todas sus bellezas, armonías y magnificencias es la obra de un Ser infinitamente bueno, sabio, poderoso y bello, de Dios nuestro Señor, que ha querido llamar á la existencia á multitud de seres, derramando por todas partes una especie de solemnidad religiosa. Por esto son tan pocos los *Astrónomos ateos*; si algunos existen, á ellos son aplicables de una manera especialísima las siguientes palabras de San Pablo: (2) «Detienen la verdad de Dios en injusticia: puesto que lo que se puede conocer de Dios (naturalmente) les es manifiesto á ellos. Porque Dios se lo manifestó. Porque las cosas de El invisibles, se vén después de la creación del mundo, considerándolas por las obras creadas: aún su virtud eterna y su divinidad: *de modo que son inescusables...* Los cuales mudaron la verdad de Dios en la mentira: y adoraron y sirvieron á la criatura antes que al Creador, el cual es bendito por los siglos. Amen.,»

(1) *Compendio di Astronomia*, pág. 750.

(2) «Veritatem Dei in injustitia detinent: quia quod notum est Dei manifestum est in illis. Deus enim illis manifestavit. Invisibilia enim Ipsius a creatura mundi, per ea quae facta sunt intellecta conspiciuntur: sempiterna quoque ejus virtus et divinitas: ita ut sint inexcusabiles... Qui commutaverunt veritatem Dei in mendacium: et coluerunt et servierunt creaturae potius quam Creatori, qui est benedictus in saecula. Amen. (Epist. ad Rom. Cap. I, vers. 18-19-20 y 25.)

APENDICE

POSICIONES GEOGRÁFICAS DE LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL GLOBO

Los datos contenidos en los siguientes cuadros están extractados de los que traen las Efemérides francesas *Connaissances des temps*, excepción hecha de los correspondientes á Granada, que no los traen dichas Efemérides: las longitudes están expresadas en tiempo y contadas á partir del meridiano del Observatorio de París. Si se quieren reducir á otro meridiano, el cálculo es muy sencillo. Pueden ocurrir dos casos: 1.º que el nuevo meridiano esté situado al O. de París; 2.º que esté al E.

1.º caso. Las longitudes E. de las siguientes tablas se suman á la O. del nuevo meridiano y las sumas, si no pasan de 12 horas, serán longitudes E.; si pasan de 12 horas, tómense los excesos, réstense de 12 horas y las diferencias serán longitudes O.; todo con relación al nuevo meridiano. Las longitudes O. de las tablas serán menores, iguales ó mayores que la del nuevo meridiano: si son menores, se restan de la del meridiano á que se quieren reducir, y sus diferencias serán longitudes E. con relación al nuevo meridiano; si son iguales, las longitudes son nulas, ó sea, 0. 0. 0.;

si son mayores, réstese de ellas la del nuevo meridiano y sus diferencias serán longitudes O. con relación también al nuevo meridiano.

2.º caso. Las longitudes O. se suman á la longitud E. del nuevo meridiano y las sumas obtenidas son longitudes O. con relación al nuevo meridiano, si no pasan de 12 horas; si pasasen, tómense los excesos, réstense de 12 horas y las diferencias que se obtengan son longitudes E. también con relación al nuevo meridiano. Las longitudes E. de las tablas serán menores, iguales ó mayores que las del nuevo meridiano; si son menores, se restan de la correspondiente al nuevo meridiano y las diferencias son longitudes O.; si son iguales, las longitudes son O. O. O.; y por último, si son mayores, réstese de ellas la del nuevo meridiano y las diferencias que se obtengan serán longitudes E.; todo con relación también al nuevo meridiano.

NOMBRES.	Latitud Norte.	Longitud.
España y Portugal.		
Albacete	38.º 59.´ 44´	0. h 16. m 46, s 4 O
Algeciras	36. 7. 11	0. 31. 5,1 O
Alicante	38. 20. 47	0. 11. 15,2 O
Almería	36. 50. 16	0. 19. 13,6 O
Avila	40. 39. 21	0. 28. 8,4 O
Badajoz	38. 52. 40	0. 37. 14,0 O
Barcelona.	41. 21. 44	0. 0. 41,2 O
Bilbao.	43. 22. 36	0. 21. 37,3 O
Burgos.	42. 20. 28	0. 24. 12,9 O
Cádiz (Observ. de S. Fernando)	36. 27. 41	0. 34. 10,3 O
Cádiz	36. 31. 55	0. 34. 32,6 O
Cartagena	37. 35. 50	0. 13. 17,2 O
Castellón	39. 59. 10	0. 9. 30,0 O
Coimbra	40. 12. 26	0. 43. 2,9 O
Córdoba	37. 52. 15	0. 28. 40,0 O
Coruña	43. 23. 10	0. 42. 58,6 O
Creux (Cabo de)	42. 19. 9	0. 3. 54,9 E
Ferrol.	43. 29. 30	0. 42. 14,5 O
Gerona.	41. 59. 15	0. 1. 57,3 E
Granada (aproximado)	37. 17. 0	0. 24. 48 O
Huelva	37. 15. 9	0. 37. 9,4 O
Huesca	42. 8 26	0. 10. 59,1 O
Ibiza (Castillo)	38. 54. 19	0. 3. 36,5 O
Lérida	41. 37. 3	0. 6. 51,3 O
Lisboa	38. 42. 18	0. 45. 54,6 O
Id.	38. 42. 44	0. 45. 48,6 O
Logroño	42. 28. 0	0. 19. 7,9 O
Madrid (Observatorio)	40. 24. 29,7	0. 24. 6,0 O
Mallorca (Sta. Margarita)	39. 42. 9	0. 3. 3,0 E
Id. (Puerto Colón).	39. 24. 52	0. 3. 44,1 E
Málaga (Faro)	36. 42. 39	0. 26. 59,4 O
Menorca (Puerto Mahón)	39. 52. 39	0. 7. 48,2 E
Murcia.	37. 59. 14	0. 13. 52,3 O
Oporto.	41. 9. 9	0. 43. 53,9 O
Santander	43. 27. 52	0. 24. 36,0 O
San Sebastian	43. 19. 17	0. 17. 23,5 O
Sevilla (La Giralda)	37. 22. 38	0. 33. 25,7 O
Tarifa	35. 59. 53	0. 31. 47,4 O
Tarragona	41. 7. 11	0. 4. 19,1 O
Toledo.	39. 51. 26	0. 25. 25,8 O
Valencia	39. 27. 10	0. 10. 37,5 O
Valladolid	41. 39. 14	0. 28. 11,3 O
Zaragoza	41. 39. 24	0. 12. 52,0 O

NOMBRES.	Latitud Norte.	Longitud.
Francia.		
Besançon (Observatorio)	47.° 14.' 59''	0. ^h 14. ^m 36,1 E
Biarritz	43. 29. 41	0. 15. 34,1 O
Burdeos (Observatorio)	44. 50. 6,7	0. 11. 26,4 O
Brest (id.)	48. 23. 32	0. 27. 19,3 O
Dunkerque	51. 2. 8	0. 0. 9,5 E
Lion (Observatorio)	45. 41. 41	0. 9. 47,6 E
Marsella (Nuevo Observatorio)	43. 18. 17	0 12. 13,6 E
Nantes	47. 13. 8	0. 15. 33,2 O
Niza	43. 43. 16,9	0. 19. 51,2 E
París (Observatorio)	48. 50. 11,2	0. 0. 0.
Perpiñan	42. 42. 2	0. 2. 14,2 E
Quimper	47. 59. 47	0. 25. 45,7 O
Inglaterra.		
Dublin (Observatorio)	53.° 23.' 13''	0. ^h 34 ^m 42, s 1 O
Londres (S. Pablo)	51. 30. 49	0. 9. 43,8 O
Edimburgo (Observatorio)	55. 57. 23	0. 22. 4,2 O
Greenwich (Id.)	51. 28. 38	0. 9. 20,9 O
Kew (Id.)	51. 28. 6	0. 10. 36,1 O
Lerwick	60. 9. 22	0. 13. 55,6 O
Liverpool (Observatorio)	53. 24. 4	0. 21. 38,0 O
Portsmouth (Id.)	50. 48. 3	0. 13. 45,8 O
Richmond (Id.)	51. 28. 8	0. 10. 35,7 O
Bélgica y Holanda.		
Amsterdam	52.° 22.' 30''	0. ^h 10. ^m 11 s, 6 E
Amberes (Observatorio)	51. 12. 28	0. 8. 18,0 E
Bruselas (Id.)	50. 51. 11	0. 8. 7,8 E
La Haya	52. 4. 40	0. 7. 53,1 E
Luxemburgo	49. 37. 38	0. 15. 17,7 E
Dinamarca, Suecia y Noruega.		
Cristiania	59.° 54.' 44''	0. ^h 33. ^m 32, s 5 E
Copenhague	55. 41. 13	0. 40. 58,2 E
Lund (Observatorio)	55. 41. 52	0. 43. 24,0 E
Stockolmo	59. 20. 33	1. 2. 53,0 E
Upsal (Observatorio)	59. 51. 29	1. 1. 9,2 E

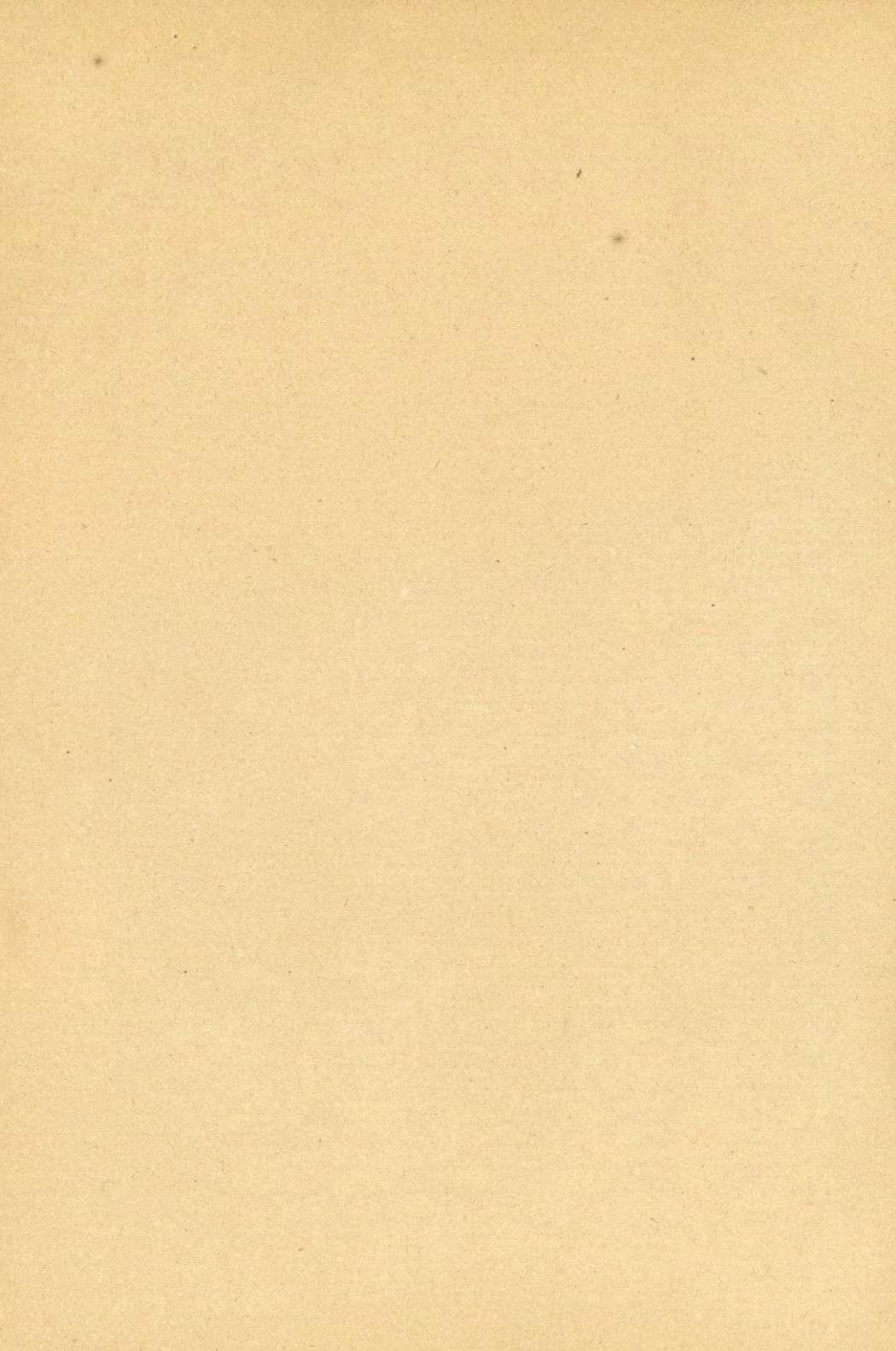
NOMBRES.	Latitud Norte	Longitud Este.
Rusia		
Arkangel	64.º 32.' 8''	2. h 32. m 43 s,5
Moskou	55. 45. 20	2. 20. 56,1
Petersburgo (San) (Obs.)	59. 56. 30	1. 51. 52,5
Perm	58. 0. 42	3. 35. 44,0
Pulkova. (Observatorio).	59. 46. 19	1. 51. 57,7
Riga	56. 56. 36	1. 27. 12,7
Sebastopol	44. 36. 51	2. 4. 44,5
Varsovia (Observatorio).	52. 13. 5	1. 14. 46,3
Alemania		
Berlin (Observatorio).	52.º 30.' 17''	0. h 44. m 13 s,9
Breslau (Id.).	51. 6. 56	0. 58. 47,8
Hamburgo (Id.).	53. 33. 7	0. 30. 32,9
Heidelberg (Id. Wolf).	49. 24. 35	0. 25. 27,5
Kiel (Id. imp.)	47. 52. 49	0. 33. 8,5
Koenigsberg (Id.).	54. 42. 50	1. 12. 38,1
Metz	49. 7. 14	0. 15. 21,5
Munich (Id.).	48. 8. 45	0. 37. 5,1
Austria Hungría,		
Turquía Europea y Grecia		
Atenas (Observatorio)	37.º 58.' 20''	1. h 25. m 33 s,9
Belgrado	44. 47. 57,	1. 12. 36,9
Bukarest	44. 25. 38,	1. 35. 4,2
Constantinopla	41. 0. 29,8	1. 46. 34,9
Cracovia (Observatorio).	50. 3. 52	1. 10. 29,3
Gratz (Id)	47. 4. 37	0. 52. 25,7
Trieste (Id. náutico)	45. 38. 51	0. 45. 43,1
Viena	48. 12. 33	0. 56. 9,8
Sofia	42. 41. 57	1. 23. 58,2
Italia y Suiza		
Berna (Observatorio).	46.º 57.' 8,77	0. h 20. m 24 s,8
Bolonía (Id.).	44. 29. 47	0. 36. 3,9
Génova (Id. de la Marina)	44. 25. 9,4	0. 26. 20,3
Ginebra (Id.)	46. 11. 59	0. 15. 15,7
Mesina (Faro)	38. 11. 33	0. 52. 56,3
Milan (Observatorio).	45. 27. 59,3	0. 27. 24,9

NOMBRES.	Latitud Norte.	Longitud Este.
Italia y Suiza.		
Módena (Observatorio)	44.º 38.' 53"	0. h 34. m 21 s, 2
Nápoles (Observatorio)	40. 51. 46	0. 47. 40,8
Otranto	40. 8. 43	1. 4. 37,5
Palermo (Observatorio)	38. 6. 46	0. 44. 4,9
Parma (Observatorio)	44. 48. 2	0. 31. 57,3
Roma (San Pedro)	41. 54. 5	0. 40. 25,4
Roma (Colegio Romano)	41. 53 54	0. 40. 34,5
Sasari (Cerdeña)	40. 43. 33	0. 24. 55,7
Venecia (Observatorio)	45. 25. 49,5	0. 40. 4,4
Verona (Observatorio)	45. 26. 8	0. 34. 35,3
Asia.		
Aden	12.º 46.' 40"	2. h 50. m 35 s, 5
Bagdad	33. 19. 50	2. 48. 9,0
Bangkok	13. 43. 59	6. 32. 43,1
Bombay (Observatorio)	18. 53. 46,5	4. 41. 54,9
Calcuta	22. 33. 25	5. 43. 59,8
Colombo (Ceilán).	6. 56. 34	5. 10. 1,3
Esmirna	38. 26. 30	1. 39. 17,9
Goa.	15. 29. 26	4. 45. 44,9
Ha Noi.	21. 1. 58,1	6. 53. 59,5
Herat	34. 20. 45	3. 59. 21,3
Hong-Kong	22. 16. 52,5	7. 27. 17,1
Hué.	16. 30. 57	7. 1. 13,8
Irkoutsk (Gimnasio)	52. 17. 16	6. 47. 43,8
Ispahan	32. 39. 34	3. 17. 37,5
Jerusalen (Santo Sepulcro).	31. 46. 30,5	2. 11. 31,5
Kabul	32. 30. 12	4. 27. 18,9
Kars	40. 37. 4,7	2. 43. 15,6
Kelat	29. 3. 45,6	4. 16. 59,7
Kudankulam (Observatorio)	8. 10. 21,2	5. 1. 24,5
Lahore.	31. 35. 0	4. 47. 55,7
Lou-Chou (Islas), Ountin (Obs.)	26. 49. 47	8. 22. 40,0
Madras (Observatorio)	13. 4. 8	5. 11. 38,5
Mandalay.	21. 59. 30	6. 15. 1,8
Nagasaki	32. 44. 35	8. 30. 7,6
Nankin	32. 4. 40	7. 45. 48,0
Nertchinsk	51. 58. 26,7	7. 36. 58,9
Pondichery	11. 55. 53	5. 9. 59,6
Saigon (Observatorio)	10. 46. 47	6. 57. 27,3
Singapur	1. 17. 11	6. 46. 3,5

NOMBRES	Latitud.	Longitud.
Asia.		
Taschkent	41.º 19.' 31" N	4.º 27.º 50 s, 0 E
Teheran	35. 41. 6,8N	3. 16. 20,5 E
Tobolsk	58. 12. 39 N	4. 23. 45,0 E
Tokio (Observatorio)	35. 39. 18 N	9. 9. 37,0 E
Yokohama	35. 26. 34 N	9. 9. 15,9 E
Gran Archipiélago de Asia y Australia.		
Adelaida (Observatorio)	34.º 55.' 34" S	9.º 4.º 59 s, 4 E
Amboina (Fuerte Vitoria)	3. 41. 30 S	8. 23. 20,1 E
Batavia (Observatorio)	6. 7. 40 S	6. 57. 52,7 E
Borneo (Isla de)	1. 1. 27 N	7. 46. 36,6 E
Cavite	14. 29. 20 N	7. 54. 19,9 E
Hobart	42. 53. 22 S	9. 40. 1,3 E
Macassar	5. 8. 9 S	7. 48. 15,4 E
Manila	14. 35. 31 N	7. 54. 31,4 E
Melburne	37. 49. 53 S	9. 30. 33,1 E
Padang	0. 58. 1 S	6. 32. 1,1 E
Palembang	2. 59. 26 S	6. 49. 41,3 E
Pontianak	0. 1. 20 S	7. 7. 58,9 E
Sydney	33. 51. 41 S	9. 55. 28,5 E
Ternate	0. 47. 13 N	8. 20. 9,6 E
Islas del Gran Océano.		
Ana (Santa)	10.º 50.' 47" S	10.º 40.º 25 s, 1 E
Aurora	6. 38. 40 N	10. 30. 11,1 E
Apia	13. 49. 44 S	11. 36. 17,0 O
Arutua	15. 19. 0 S	9. 55. 48,0 O
Atiu	19. 59. 30 S	10. 41. 45,7 O
Aukland	36. 50. 5 S	11. 29. 50,0 E
Bonin (Isla Kater)	27. 31. 0 N	9. 19. 27,1 E
Honolulu	21. 18. 6 N	10. 40. 49,6 O
Africa é Islas.		
Argel (Observatorio)	36.º 47.' 50" N	0.º 2.º 47 s, 6 E
Buena Esperanza (Cabo de)	33. 56. 3 S	1. 4. 33,7 E
Cairo	30. 2. 4 N	1. 55. 40,8 N

NOMBRES.	Latitud.	Longitud.
Africa é Islas.		
Durbau (Faro)	29.º 52.' 23'' S	1.ª 54.ª 53,4 ^s E
Fez	34. 6. 3 N	0. 29. 26,3 O
Gondar	12. 36. 26. N	2. 20. 36,3 E
Hierro (Isla de).	27. 46. 30. N	1. 20. 56,7 O
Isla de Santa Elena	15. 55. 0. S	0. 32. 16,9 O
Luis (San).	16. 1. 31. N	1. 15. 22,4 O
Mauricio (Isla de) (Observ.)	20. 5. 39. S	3. 40. 51,4 E
Natal (Observatorio)	29. 50. 47. S	1. 54. 40,2 E
Palmas	4. 22. 10. N	0. 40. 17,1 O
Saïd (Puerto)	31. 15. 48. N	1. 59. 54,7 E
Santiago (Isla de).	14. 53. 40. N	1. 43. 27,9 O
Suakim	19. 6. 58. N	2. 19. 58,1 E
Snez	29. 56. 9. N	2. 0. 53,1 E
Syena	24. 5. 23. N	2. 2. 1,2 E
Tanger.	35. 47. 4. N	0. 32. 36,3 O
Tenerife (Pico de)	28. 16. 14. N	1. 15. 53,4 O
Tenerife (Santa Cruz de)	28. 27. 58. N	1. 14. 18,1 O
Tombouctou.	16. 49. 0. N	0. 20. 48,0 O
Tunez	36. 47. 44. N	0. 31. 19,1 E
América del Norte.		
Acajutla	13. 34. 17. N	6. 8 42,3 O
Alfredo (Observatorio).	42. 15. 19,8N	5. 20 28,0 O
Baltimore (Observatorio)	39. 17. 48. N	5. 15 46,9 O
Beliza	17. 29. 20. N	6. 2 10,2 O
Cambridge (Observatorio).	42. 22. 48. N	4. 53 51,0 O
Chicago (Observatorio)	41. 50. 1. N	5. 59 47,8 O
Cincinnati (Observatorio)	39. 8. 19. N	5. 47 2,4 O
Clinton (Observatorio)	43. 3. 17. N	5. 10 58,4 O
Esquimalt (Observatorio)	48. 25. 49. N	8. 23 8,0 O
San Francisco (Observatorio).	37. 47. 24. N	8. 19 3,5 O
George town (Observatorio)	38. 54. 26. N	5. 17 39,3 O
Glasgow (Observatorio).	39. 13. 46. N	6. 20 39,0 O
Haverford (Observatorio)	40. 0. 37. N	5. 10 33,8 O
San Juan de Terranova	47. 34. 10. N	3. 40 4,1 O
Libertad (la).	13. 28. 48,7N	6. 6 38,4 O
Matamoros (Observatorio).	25. 52. 32. N	6. 39 22,3 O
Méjico (Observatorio Nacional)	19. 26. 1. N	6. 45 47,7 O
Montreal (Observatorio)	45. 30. 0. N	6. 3 39,5 O
Nashville (Observatorio)	36. 8. 58. N	5. 56 29,0 O

NOMBRES.	Latitud.			Longitud Oeste.		
América del Norte						
New-Haven (Observatorio)	41.º	19.' 22"	N	5,h	1,m	1 s,5
New-York (Observatorio)	40.	43. 48	N	5.	5.	17,7
Quebec (Observatorio)	46.	48. 17	N	4.	54.	10,3
Queretaro	20	35. 36	N	6.	50.	53,5
Toronto (Observatorio)	43.	39. 35	N	5.	26.	54,1
Unión (La)	13.	20. 6	N	6.	0.	44,9
Vera-Cruz	19.	12. 29	N	6.	33.	52,4
Virginia (Observatorio)	38.	2. 1	N	5.	23.	26,2
Washington (O. naval)	38.	53. 39	N	5.	17.	33,1
Antillas.						
Habana (el Morro).	23.º	9.' 21"	N	5,h	38,m	46 s,0
Santiago de Cuba	20.	0. 16	N	5.	12.	42,9
Haiti	19.	48. 20	N	4.	58.	51,0
Santo Domingo	18.	27. 54	N	4.	48.	52,9
Puerto-Príncipe	18.	33. 54	N	4.	58.	49,1
Kingston	17.	57. 41	N	5.	16.	31,6
Pto. Rico (San Juan de).	18.	28. 56	N	4.	33.	50,8
Santa Cruz (Isla de) (Observ.)	17.	44. 43	N	4.	28.	6,1
América del Sud.						
Asunción.	25.º	16.' 49"	S	4,h	0,m	1 s,3
Bogotá.	4.	35. 48	N	5.	6.	16,5
Buenos-Aires	34.	36. 30	S	4.	2.	49,9
Callao (Faro de S. Lorenzo)	12.	4. 3,1	S	5.	18.	23,9
Caracas (Observatorio)	10.	30. 30	N	4.	37.	4,5
Cayenna	4.	56. 20	N	3.	38.	44,0
Chuquisaca	19.	3. 0	S	4.	26.	57,6
Lima	12.	3. 5,8	S	5.	17.	31,6
Montevideo).	34.	54. 29	S	3.	54.	9,9
Paramaribo	5.	49. 30	N	3.	49.	56,2
Paz (La)	16.	29. 57	S	4.	41.	57,7
Quito	0.	14. 0	S	5.	24.	22,0
Río-Janeiro (Observatorio).	22.	54. 24	S	3.	2.	2,4
Santiago (Chile) (Nuevo Observ.)	33.	26. 42	S	4.	52.	7,3
Valparaiso (Escuela naval).	33.	1. 50	S	4.	55.	55,0



INDICE

	Pags.
CENSURA	V
LICENCIA	X
PRÓLOGO	XII

INTRODUCCION.

PREÁMBULO	7
CAPITULO I—Nociones generales	9
CAPITULO II—Nociones previas sobre la Tierra	16
CAPITULO III—Nociones sobre los principales sistemas y descubrimientos astronómicos	27
ART I—Primer periodo.—Astronomía antigua	27
ART II—Segundo periodo —Astronomía moderna	33
CAPITULO IV—Nociones sobre los principales instrumentos y métodos	43
ART I—Principales instrumentos	43
§ I—Anteojos y telescopios	44
§ II—Péndulos y cronómetros	55
ART II—Métodos	63
§ I—Espectroscopia	63
§ II—Fotografía	75
CAPITULO V—Plán de exposición	81

PRIMERA PARTE

URANOLOGIA

PREÁMBULO	83
CAPITULO I—Nociones generales	85
CAPITULO II—Coordenadas celestes.	93
ART. I.—Teoría fundamental de las coordenadas	93
ART. II.—Planos y círculos fundamentales de la esfera celeste	100
ART. III.—Primer sistema.—Coordenadas horizontales	104
ART. IV.—Segundo sistema.—Coordenadas ecuatoriales	111
ART. V.—Tercer sistema.—Coordenadas eclípticas	118

	Pags.
CAPITULO III.—Distribución de las estrellas en la esfera celeste	127
ART. I.—Nomenclatura estelar	127
ART. II.—Procedimientos para encontrar las constelaciones en la esfera celeste	133
CAPITULO IV.—Movimiento aparente de la esfera celeste	146
ART. I.—Leyes del movimiento diurno	146
ART. II.—Resolución de algunos problemas	156
ART. III.—Diversas especies de tiempo	165
§ I.—Tiempo sidéreo	165
§ II.—Tiempo solar	166
§ III.—Determinación directa del tiempo solar verdadero	175
ART IV.—Planteamiento del problema relativo á la rotación de la esfera celeste	188
CAPITULO V.—Representación de la esfera celeste	191
ART I.—Globos y mapas celestes	191
ART II.—Catálogos estelares y efemérides astronómicas.	196

SEGUNDA PARTE

HELIOLOGIA

PREÁMBULO.	199
--------------------	-----

SECCIÓN PRIMERA

HELIOLOGÍA PROPIAMENTE DICHA.

PREÁMBULO.	201
CAPITULO I.—Nociones generales	201
CAPITULO II.—Movimientos del Sol	203
ART I.—Movimientos aparentes del Sol sobre la esfera celeste	203
§ I.—Movimiento diurno del Sol	203
§ II.—Movimiento anual ó elíptico del Sol	205
§ III.—Planteamiento del problema relativo al movimiento anual ó elíptico del Sol	211
ART II.—Movimientos verdaderos del Sol.	213
§ I.—Movimiento de rotación del Sol	214
§ II.—Movimiento de traslación del Sol	217
CAPITULO III.—El Globo solar	220

	Pags.
ART I.—Figura del Sol.—Su distancia á la Tierra	220
ART. II.—Dimensiones del Sol.	226
ART III.—Constitución físico-química del Sol.	228
§ I — Estudio particular del núcleo	229
§ II—Estudio particular de la foto-esfera	230
§ III—Estudio particular de la crono-esfera.	237
§ IV—Estudio particular de la atmósfera	240
ART. IV.—Actividad externa del Sol	242

SECCIÓN SEGUNDA



PLANETOLOGÍA.

PREÁMBULO.	248
CAPITULO I.—Nociones generales	248
CAPITULO II.—La Tierra	253
ART. I.—Coordenadas terrestres	253
ART. II.—Figura y dimensiones de la Tierra	261
ART. III.—Pruebas directas del movimiento de rotación de la Tierra.	266
ART. IV.—Pruebas directas del movimiento de traslación de la Tierra	271
ART. V.—Estudio de la órbita de la Tierra	276
§ I.—Elementos de la órbita de la Tierra	277
§ II.—Variaciones que experimentan algunos elementos de la eclíptica	281
ART. VI.—Consecuencias de los movimientos de la Tierra.	286
§ I.—Diversas especies de años	287
§ II.—Estaciones	288
§ III.—Días y noches comunes	294
ART VII.—Constitución de la Tierra	301
§ I—Constitución general de la Tierra.	301
§ II—Estudio particular de los mares	302
§ III—Estudio particular de la corteza terrestre	306
§ IV. Estudio particular del núcleo terrestre	308
ART. VIII.—Representación de la Tierra.	310
§ I. — Globos terrestres	310
§ II.—Mapas geográficos	311

	Pags.
CAPITULO III.— La Luna	323
ART. I.—Nociones generales	323
ART. II.—Movimientos de la Luna	325
§ I.—Movimiento aparente de la Luna	325
§ II.—Movimientos verdaderos de la Luna	327
§ III.—Variaciones de algunos elementos de la órbita lunar.	337
§ IV.—Diversas revoluciones lunares	338
ART. III.—Figura de la Luna: su distancia á la Tierra	339
ART. IV.—Dimensiones de la Luna	344
ART. V.—Constitución de la Luna	347
CAPITULO IV.—Ampliación y complemento al estudio sobre el Sol, la Tierra y la Luna	356
ART. I.—Nuevas relaciones entre el Sol, la Tierra y la Luna.	356
ART. II.—Calendarios ó almanaques	360
§ I.—Clasificación y estudio de los calendarios por su fun- damento astronómico	361
§ II.—Clasificación de los calendarios por el uso á que se destinan	368
ART. III.—Eclipses	377
§ I.—Eclipses de Luna	380
§ II.—Eclipses de Sol	385
§ III.—Predicción y cálculo de los eclipses	391
§ IV.—Un triunfo de la Religión Católica en el campo de la Ciencia Astronómica	397
CAPITULO V.— Planetas interiores	402
ART. I.— Movimientos de los planetas interiores	402
§ I.—Movimientos aparentes de los planetas interiores	402
§ II.—Movimientos verdaderos de los planetas interiores	405
ART. II.—Monografía de Mercurio	408
ART. III.—Monografía de Venus	411
CAPITULO VI.— Planetas exteriores	416
ART. I.—Movimientos de los planetas exteriores	416
§ I.—Movimientos aparentes de los planetas exteriores	416
§ II.—Movimientos verdaderos de los planetas exteriores	419
ART. II.—Monografía de Marte	420
ART. III.—Monografía de los planetoides	426
ART. IV.—Monografía de Júpiter	428
ART. V.—Monografía de Saturno	434
ART. VI.—Monografía de Urano	440
ART. VII.—Monografía de Neptuno.	442
CAPITULO VII.—Ampliación y complemento al estudio de los planetas	445

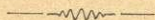
SECCIÓN TERCERA



COMETOLOGÍA.

	Pags.
PREÁMBULO	449
CAPITULO I.—Cometas	449
ART. I.—Nociones generales	450
ART. II.—Movimientos de los cometas	452
ART. III.—Monografías cometarias	455
ART. IV.—Constitución de los cometas	457
CAPITULO II.—Meteoros cósmicos	460
ART. I.—Nociones generales	460
ART. II.—Estrellas fugaces	461
ART. III.—Bóridos, Aerolitos y Luz zodiacal	466

TERCERA PARTE



SIDEROLOGIA

PREÁMBULO	469
CAPITULO I.—Nociones sobre las estrellas	471
ART. I.—Nociones generales	471
ART. II.—Movimientos de las estrellas	476
ART. III.—Diferentes clases de estrellas	480
ART. IV.—Clasificación de las estrellas por el estudio de sus espectros	487
ART. V.—El sol y las estrellas.	491
CAPITULO II.—Nociones sobre las nebulosas	492

CONCLUSION



§ I.—Hipótesis sobre la formación del Universo	496
§ II.—Consideraciones sobre la habitabilidad de los astros.	499
APÉNDICE.—Posiciones geográficas de las principales ciudades del globo	505

CORRECCIONES Y ADICIONES



Pág.	Lin.	Dice	Corrijase
28	6	al Sol	á sus nodos, al Sol.
38	10	vectores	sectores
38	12	vector	sector
42	2	385°	325°
90	8	=90°	=sen. 90°=1
102	18	57 segundos	8,029 segundos (<i>y hágase igual corrección en esta y en la página 104</i>).
121			En la Fig. 67 falta la flecha en la dirección γ E'; una A donde se cortan los arcos Pa y P ₁ a'; y las letras a y a' corresponden á las x y x' de la explicación
122	15	PA	P ₁ A
164	36	28	22", (<i>y hágase el cálculo con esta corrección</i>).
167	37	disminúyase	auméntese
172	7	8 ^s , 21	0 ^s , 1369 (<i>y hágase el cálculo con esta corrección</i>).
181			En la Fig. 10 ^s faltan: S en el ángulo 11 ¹ / ₂ , y X en el XI ¹ / ₂
184			En la Fig. 107 falta una C en el vértice del triángulo fundamental que está en la línea de las III.
228	12	1 ² ,020	1,020
228	14	1 ³ ,419	1,419
249	3	Marte, Venus	Venus, Marte.
263	25-34	Lajonia	Sajonia
273	4	AOO''	OAO''
275	23-24	T,TE''	E'TE''

Pag.	Lin.	Dice	Corrijase
275	32		<i>Intercálese á continuación el siguiente párrafo:</i> Para comprender mejor lo que se entiende por <i>constante de la aberración</i> , nótese que la aberración de la luz solar es de 20",47 y que 20", 47 vale constantemente el semieje mayor de la elipse que una estrella describe sobre la esfera celeste á causa del fenómeno de la aberración. El valor 20",47 ha sido adoptado por la Conferencia Internacional de las estrellas fundamentales reunida en París en 1896.
278	30	(S γ)	(S γ
304			En la Fig. 152 falta una T en el centro
313	9	EE'	EO
317	13	ECUATORIAL	MERIDIONAL
318			En la Fig. 161 las <i>a</i> y <i>b</i> superiores son <i>a'</i> <i>b'</i> ; la <i>a</i> inferior es <i>a''</i> ; la <i>b</i> inferior es E; la línea <i>a d'''</i> debe ser <i>d d'''</i>
320	12	dSd'	dSd''
346	8	38' (col. 3. ^a)	38
346	10	22.105' "	22.105
367	16	XII	XIII
399	29		<i>Intercálese á continuación el siguiente párrafo:</i> No hacemos mención de los cometas ni de los corpúsculos de donde proceden los meteoros cósmicos, porque, aunque en algunas ocasiones pudiera suceder que se interpusiesen entre la Tierra y el Sol, es de todos sabido que estas interposiciones no pueden producir las tinieblas de que tratamos.
481	35	γ Cisne	V Cisne
484	16	Cisne	τ Cisne

