APUNTES

DE

ASTRONOMIA ELEMENTAL

Ó

COSMOGRAFIA

ILUSTRADOS CON 207 FIGURAS

Y DEDICADOS A LA JUVENTUD ESTUDIOSA

POR

ENRIQUE M. CAPPELLETTI, S. J.

PUEBLA DE LOS ANGELES.

IMPRENTA DEL COLEGIO PIO DE ARTES Y OFICIOS.

BÓVEDAS DE LA COMPAÑIA NÚM. 8.

1887.

Indice de las Materias.

PÁG.

Al lector..... v
Introduccion..... 9.
Nociones preliminares.—1. Horizonte aparente y racional; depresion del horizonte.—2. Esfera celeste.—3. Ecuador, hemisferios, paralelos.—4. Meridiano..... 11—14.
5. Coordenadas celestes.—6. Primer sistema: Horizonte y meridiano.—7. Segundo sistema: Ecuador y círculo de declinacion.—8. Ángulo horario.—9. Tercer sistema: Eclíptica, círculo perpendicular á ella.—10. Resúmen de los tres sistemas.—11. Faja del zodiaco..... 15—18.
12. Altura y azimut.—13. Método para hallar el meridiano.—14. Método para hallar el azimut.—15. Determinacion de la posicion del eje del mundo..... 19—21
16. Ascension recta y declinacion.—17. Círculo horario fundamental ó primario. 18. Telescopio ecuatorial.—19. Método para hallar la declinacion.—20. Tres casos diferentes.—21. Latitud y longitud.—22. Rosa náutica..... 22—25.

LIBRO I.

DE LAS ESTRELLAS.

§ 1º Del cielo estrellado.—23. Movimiento diurno; tiempo sidereal; distancia angular.—24. Estrellas simples y múltiples.—25. Si pueden numerarse las estrellas.—26. Catálogos de las estrellas..... 27—28.
§ 2º Brillo y número de las estrellas.—27.—Diferentes magnitudes.—28. Grupos y constelaciones.—29. Orden de magnitud en los dos hemisferios.—30. Cálculo aproximado del número de las estrellas..... 29—31.
§ 3º Distancia de las estrellas.—31. Método para hallarla.—32. Paralaje anual y distancia de algunas estrellas..... 31—32.
§ 4º Movimiento propio de las estrellas. 33.—Estrellas cuyo movimiento se conoce..... —33.
§ 5º Estrellas dobles, triples, múltiples, etc.—34. Dobles.—35. Revolucion de dichas estrellas.—36. Número de estrellas dobles—37. Triples.—38. Periódicas.—39. Hipótesis sobre las estrellas periódicas.—40. Variables.—41. Temporarias.—42. Coloreadas..... 34—40.
§ 6º Nebulosas.—43. ¿Qué se entiende por nebulosas?—44. Nebulosas resolubles.—45. Nébulas.—46. Vía láctea..... 40—44.
§ 7º Aspecto del cielo en varios puntos del globo.—47. Triple posicion del globo terrestre..... 46—48.

LIBRO II.

DE LA TIERRA.

CAP. I. § 1º Posicion de la tierra en el espacio: su forma.—48. Aislamiento y redondez de la tierra.—49. Prueba de la redondez de la tierra por la depresion del horizonte.—50. Relacion del

PÁG.

globo terrestre con la esfera celeste.—51. Los viajes al rededor del globo demuestran la redondez de la tierra.—52. Consecuencias que se deducen..... 49—51.
§ 2º Coordenadas geográficas.—53. Latitud y longitud..... —52.
§ 3º Medida de las coordenadas geográficas.—54. Por la diferencia de horas en puntos distantes entre sí.—55. Por el telégrafo.—56. Por el cronómetro.—57. Por el método de señales.—58. Por los eclipses de los satélites de Júpiter..... 54—55.
59. Primer método para hallar la latitud de un lugar.—60. Segundo método..... —55.
§ 4º Medida de un arco de meridiano.—61. Arco de un grado.. —56.
§ 5º Forma de la tierra.—62. La tierra es un elipsóide..... —57.
§ 6º Longitud del metro.—63. Medida de un cuarto de meridiano.—64. Correccion de dicha medida..... 59—60.
§ 7º Cartas geográficas.—65, 66. Proyeccion sobre un plano.—67. Varias especies de proyecciones—68. Proyeccion central.—69. Aplicacion de la teoría de las proyecciones á las cartas geográficas.—70. Proyeccion ortográfica.—71. Proyeccion estereográfica.—72. Proyeccion homalográfica.-73. Cartas de Mercator—74. Ventajas de esta proyeccion..... 60—67.
CAP. II. ROTACION DE LA TIERRA..... —68.
§ 1º Pruebas del movimiento de rotacion.—75. Principio de mecánica.—76. Fuerza centrífuga y gravedad.—77. Fluidez del globo terrestre.—78. Cómo pueda representarse el globo terrestre.—79. La desviacion de un cuerpo en su caida demuestra la rotacion de la tierra.—80. La oscilacion del péndulo en el polo.—81. En el ecuador.—82. En las latitudes intermedias.—83. Consecuencias..... 68—73.
§ 2º Fenómenos que dependen de la rotacion de la tierra.—84. Aire atmosférico.—85. Corrientes polares.—86. Otros fenómenos accidentales.—87. La precesion de los equinoccios..... 74—75.
§ 3º—88. Prueba indirecta deducida de la velocidad de los cuerpos celestes..... —75.
CAP. III. MOVIMIENTO DE TRASLACION DE LA TIERRA.
§ 1º—89. Teoría de los antiguos. sistema de Tolomeo.—90. Estudios de Copérnico.—91. Publicacion de su obra.—92. Sistema de Copérnico.—93. Sistema de Ticho-Brahé.—94. Ideas de Galileo.—95. Galileo defiende el movimiento de la tierra.—96. Opinion de Kepler: descubre las leyes que llevan su nombre..... 76—84.
§ 2º Aberracion de la luz.—97. Fenómenos que dieron origen al descubrimiento de la aberracion.—98. Movimientos aparentes de la estrella polar, ó de cualquiera otra en el polo de la eclíptica.—99. En qué consiste la aberracion de la luz.—100. Posiciones de la tierra en el espacio..... 85—88.
§ 3º Precesion.—101. Explicacion del fenómeno.—102. Valor de la precesion..... 90—92.
§ 4º Nutacion.—103. En qué consiste.—104. Explicacion del fenómeno.—105. Valor de la variacion.—106. Otros movimientos. 93—94.
§ 5º Causas de la precesion y de la nutacion.—107. Atraccion del Sol sobre la masa ecuatorial.—108. Accion de la Luna.... 95—96.
CAP. IV. DE LA ATMÓSFERA.
§ I.—109. Naturaleza de la atmósfera..... —96.

PÁG.

§ 2º Luz difusa y centelleo.—110. De la reflexion de los rayos luminosos.—111. Centelleo de las estrellas..... —97.
§ 3º Crepúsculo. —112. Su naturaleza, su causa.—113. Altura de la atmósfera deducida del crepúsculo..... 98—99.
§ 4º Refraccion atmosférica. —114. Leyes de la refraccion atmosférica, explicacion de la tercera ley —115. Deformacion del Sol y de la Luna.—116. Fenómenos que erroneamente se atribuyen á la refraccion atmosférica..... 100—103.

LIBRO III.

DEL SOL.

CAP. I. MOVIMIENTO APARENTE.....
§ 1º 117. Esplicacion del movimiento aparente suponiéndolo circular.—118. En la hipótesis de ser elíptico.—119. Variacion de distancia de la tierra al Sol..... 104—105.
§ 2º Desigualdad de los dias y de las noches.—120. Movimiento aparente anual.—121. Consecuencias.—122. Climas astronómicos..... 106—108.
§ 3º Desigualdad de los dias solares.—123. En qué consiste la variacion.—124. Causas que la producen.—125. Principio de las áreas.—126. Velocidad diversa en el perigeo y en el apogeo.—127. La oblicuidad de la eclíptica: arco en los equinoccios.—128. Arco en los solsticios..... 110—113.
§ 4º ESTACIONES: desigualdad de su duracion. —129. Posiciones de la tierra en los equinoccios y en los solsticios.—130. La elipse terrestre dividida en cuatro partes desiguales..... 114—116.
§ 5º Movimiento del perigeo.—131. Valor variable de la longitud del perigeo en épocas distantes..... —117.
§ 6º Ecuacion del centro. 132. En qué consiste..... —119.
§ 7º Variaciones del diámetro aparente del sol.—133. Por la excentricidad de la elipse solar aparente..... —120
§ 8º Año trópico, sideral, anomalístico.—134. Diferencia en su duracion..... —120.
§ 9º Calendario.—135. Correccion Juliana.—136. Correccion Gregoriana.—137. Quienes la adoptaron.—138. Semana.—139. Meses..... 121—123.
Apéndice para hallar el dia de la Pascua.—140. Dia fijo determinado por la Iglesia.—141. Método y fórmula de Gauss.—142. Fiestas movibles..... 124—126.
§ 10º Nocion histórica sobre la division del tiempo.—143. Forma diversa de la division del año.—144. Orígen de los meses.—145. Principio del dia civil.—146. Instrumentos para marcar las horas..... 123—127.
CAP. II. DE LA MEDIDA DEL TIEMPO.....
§ 1º Division en 24 horas.—147..... —128.
§ 2º Tiempo medio.—148. Sol medio, ecuacion del tiempo.—149. Tabla de la ecuacion del tiempo; modo de usarla..... 129—130.
§ 3º Línea meridiana.—150. Método para hallarla por medio del gnómon.—151. Problemas..... 131—133.

PÁG.

§ 4º Gnomónica.—152. Especies de cuadrantes.—153. Cuadrante ecuatorial.—154. Cuadrante horizontal.—155. Cuadrante vertical-paralelo, declinante.—156. Diferentes especies de gnómon.—157. Paralelo de los signos del zodiaco.—158. *Lemniscata* ó sea curva del medio dia en tiempo medio.—159. Problema. 136—147

CAP. III. DISTANCIA DEL SOL Á LA TIERRA.....

§ 1º Paralaje.—160. En qué consiste.—161. Fórmulas..... 149—150.

§ 2º Correccion de la paralaje.—162. Punto fijo á que deben referirse las observaciones.—163. Valor del ángulo.—164. Fórmula más general..... 151—152.

§ 3º Medida de la paralaje.—165. Método geométrico.—166. Método del paso de Vénus sobre el disco del Sol.—167. Cálculo de la distancia..... 153—155.

§ 4º Magnitud del Sol.—168. Relacion de los diámetros del Sol y de la Tierra, volúmen, masa y densidad del Sol..... —156.

§ 5º Manchas.—169. Qué cosa son.—170. Propiedad de las manchas.—171. Su curso sobre el disco del Sol.—172. Fáculas.—173. Superficie del Sol desigualmente luminosa.—174. Curso de dos manchas observadas por el P. Scheiner.—175. Advertencia. 157—161

§ 6º Rotacion del Sol.—176. Rotacion aparente y real; valor respectivo..... —161.

§ 7º Ciclo solar.—177. En qué consiste.—178. Método para calcularlo..... —163

§ 8º Constitucion física del Sol.—179. Protuberancias.—180. Corrientes atmosféricas.—181. Temperatura del Sol.—182. Estado gaseoso del Sol..... 164—166.

§ 9º Luz zodiacal.—183. Su naturaleza..... —166.

LIBRO IV.

DE LA LUNA.

CAP. I. § 1º LA LUNA satélite de la Tierra.—184. Aspecto en que se presenta.—185. Su movimiento.—186. Nodos..... 168—169.

§ 2º Revolucion sinódica de la Luna.—187. Diferencia con la revolucion sideral: su valor.—188. Ciclo lunar, áureo número.—189. Epacta.—190. Método para hallar el áureo número.—191. Método para hallar la epacta.—192. Método para hallar la edad de la Luna en un dia cualquiera.—193. Hallar la epacta de los años sucesivos..... 169—172.

§ 3º Fases de la luna.—194. Novilunio y Plenilunio.—195. Esplicacion de las fases.—196. La luna presenta siempre el mismo hemisferio á la tierra.—197. Fenómenos que presentaria la Tierra desde la Luna.—198. Luz cenicienta..... 172—175.

§ 4º Naturaleza de la órbita lunar.—199. Es elíptica.—200. Es plana..... 175—176.

§ 5º Retrogradacion de los nodos.—201. Valor medio de dicha retrogradacion..... —176.

§ 6º Libraciones de la Luna.—202. Libraciones en *latitud*.—203. Libracion en *longitud*.—204. Libracion *diurna*..... 177—179.

§ 7º Paralaje de la luna: su distancia á la tierra.—205. Valor de la paralaje, y distancia en radios terrestres..... —179.

PÁG.

§ 8º Movimiento de la luna al rededor del sol.—206. Curva epicicloidal ..... —180.
§ 9º 207. Diámetro de la Luna.—208. Superficie y volúmen.—209. Masa y densidad ..... 181—182.
§ 10º Constitucion física de la Luna.—210. Montañas y valles: cráter Copérnico, mares.—211. La luna sin atmósfera, agua ni nubes ..... —182.
§ 11º De las mareas.—212. *Flujo y reflujo.*—213. *Periodos.*—214. Causas que las originan.—215, 216. Forma que toman las aguas.—217. Efectos de la posicion relativa del Sol y de la Luna.—218. Establecimiento del puerto.—219. Diferencia de alturas en las mareas.—220. Mareas en las costas de América.—221. Diferencia de la altura de la marea en el dia y en la noche.—222. velocidad de la marea ..... 184—196.
CAP. II DE LOS ECLIPSES.—223. Definicion ..... —197.
§ 1º Eclipses de Luna.—224. Posibilidad de un eclipse de Luna.—225, 226. Condiciones de un eclipse de Luna.—227. Resúmen.—228. Dígitos.—229. Importancia de dichos eclipses.—230. Penumbra: en qué consiste.—231. Influjo de la atmósfera terrestre.—232. Visibilidad de un eclipse de Luna: método para hallar el hemisferio en que es visible ..... 197—204.
§ 2º Eclipses de Sol.—233. Diferentes especies.—234, 235, 236. Condiciones de un eclipse de Sol ..... 204—208.
§ 3º Anotaciones sobre los eclipses.—237. Frecuencia.—238. Diferencia característica entre los eclipses de Sol y los de Luna .. 209—209.
§ 4º 239. Fenómenos que se verifican en los eclipses totales de sol; corona luminosa.—241. Protuberancias.—242. Efectos atmosféricos.—243. Conclusion ..... 210—214.

LIBRO V.

DE LOS PLANETAS

CAP. I. § 1º 244. NOCIONES GENERALES.—245. Division de los planetas ..... 215—
2º Movimiento de los planetas.—246. Estacion y retrogradacion.—247. Epoca de la visibilidad de un planeta.—248. Movimientos aparentes de los planetas superiores ..... 216—218.
§ 3º Distancia de los planetas al sol.—249. Método para hallar la distancia.—250. Orden de distancia de los planetas.—251. Descubrimiento de los asteróides.—252. Signos que representan á los planetas.—253. Cuadro de la distancia de los planetas .. 220—222.
CAP. II. CARACTERES PARTICULARES DE LOS PLANETAS ..... —223.
§ 1º Planetas inferiores.—253. 1º Mercurio.—254. 2º Vénus.—255. Fenómenos que presenta Vénus.—256. Cuestion sobre el satélite de Vénus ..... 223—227.
§ 2º Planetas superiores.—257. 1º Marte.—258. Fases de Marte.—259. 2º Asteróides.—260. Su cleneo.—261. Número de ellos.—262. 3º Júpiter.—263. Satélites de Júpiter.—264. 4º Saturno.—265. Satélites de Saturno.—266. 5º Urano.—267. Visibilidad de Urano.—268. 6º Neptuno.—269. Propiedad de Neptuno.—270. Satélites de Neptuno. Cuadro general del sistema solar .. 228—243.

PÁG.

CAP. III. METEOROS.—271. Su naturaleza.—272. Sus especies.. —244.
§ 1º 273. Aerólitos.—274. Su velocidad.—275. Su orígen..... 244—246.
§ 2º 276. Bólides.—277. Distancia, velocidad, diámetro de uno de ellos.—278. Número de los bólides..... —247
§ 3º 279. Estrellas errantes, su frecuencia, anillo meteórico.—280. Teoria del Prof. Schiaparelli.—281. Qué se entiende por ápice.—282. Variabilidad de dicho ápice..... 248—252.
CAP. IV. COMETAS..... —253.
§ 1º 283. Aspecto general de los cometas.—284. Núcleo, cauda.—285. Cometas de 1858 y de 1861.—286. Cometa de 1862.—287. Su aspecto.—288. ¿Qué es un cometa?..... 258—259
§ 2º 289. Constitucion física de los cometas..... —259
§ 3º 290. Otras particularidades de los cometas.—291. Formacion de las caudas..... 262—263.
§ 4º 292. Movimiento propio de los cometas.—293. Elementos del cometa de Halley..... 264—266.
§ 5º Cometas periódicos.—294. Cometa de Halley.—295. Cometa de Enke.—296. Cometa de Biela.—297. Cometa de M. Faye.—298. Orbitas de los cometas periódicos..... 267—271.
CAP. V. GRAVITACION UNIVERSAL.....
§ único.—299. Principios en que estriba la ley.—300. La fuerza de atraccion está en razon inversa del cuadrado de la distancia.—301. Raciocinio de Newton.—302. La fuerza atractiva es proporcional á la masa.—303. Esta ley es propiedad inherente á toda materia.—304. ¿Será esta fuerza un principio activo en la materia?..... 272—277.
Razon de las Notas que se añaden..... —275.
NOTA A. Averiguar la hora de la salida del Sol y la duracion del crepúsculo..... —278
NOTA B. Hallar el dia de la Pascua por el Calendario eclesiástico y la letra Dominical..... —280.
NOTA C. Hallar por medio del ciclo solar la letra dominical.... —287.
NOTA D. Construir un cuadrante con la mayor precision..... —288.
Problemas..... —291.
Indice de las materias..... —265

AL LECTOR.

Entre los ramos de ciencias naturales á que ordinariamente se dedican los jóvenes alumnos, el mas difícil, á mi ver, es la Cosmografía. No hay en este ramo lo que en la Física, la Química, la Historia natural etc., en las cuales se presenta á la vista del jóven el objeto de que se trata, se le resuelve en sus elementos, se examinan sus partes, se observan sus efectos; en fin, se toca con la mano, por decirlo así, todo lo que concierne al estudio de su naturaleza. En el estudio de la Cosmografía, es necesario que el jóven eleve la mente á los espacios infinitos que le rodean; considere y examine la inmensa multiplicidad de los cuerpos celestes que están esparcidos en el Universo; que vaya adquiriendo una noticia particular de las leyes á que están sometidos sus movimientos; y en fin, prescindiendo, por decirlo así, del mismo sostén sobre que se halla, es preciso que haga un esfuerzo intelectual para que pueda formarse una idea exacta de lo que es el Universo; tarea bien difícil para una mente tierna cuyos alcances no se extienden mas allá de los estrechos límites de los objetos terrestres. Ciertamente no hay quien dude de cuán facil es que en esta materia se introduzca confusion á causa de la multiplicidad y variedad de conocimientos que debe adquirir un alumno. Y si en otros ramos es preciso allanar las dificultades y facilitar el estudio, en este especialmente es en gran manera necesario consultar un método de ex-

posicion que poco á poco dirija al jóven por un camino seguro, y lo lleve insensiblemente al término deseado. Existen por cierto textos tan exactos y abundantes, que al estudiante no dejan nada que desear; con todo la experiencia de los varios años en que ha estado á nuestro cargo la enseñanza de este ramo, nos ha dado á conocer la gran dificultad con que ordinariamente tropiezan los jóvenes para descubrir el lazo de union que ligue entre sí las varias partes de que se trata. En vano pretenden hallar esa unidad que ayuda tanto á la memoria por el órden de las materias, ni les es fácil evitar la confusion que engendra en sus ideas, la varia disposicion y multiplicidad de los conocimientos sobre los movimientos de un número tan grande de cuerpos celestes. Por otra parte, tambien es verdad que estando tan íntimamente relacionados entre sí dichos movimientos, pues dependen mútuamente los unos de los otros, no es posible muchas veces hablar de uno sin hacer relacion al otro, ó á lo menos suponerlo: de aquí nace lo mas frecuentemente el que se caiga en el defecto de muchas repeticiones inútiles, que producen en la mente del jóven ideas falsas, ó por lo menos confusas.

Todos saben cuán grande es el predominio que la imaginacion ejerce en una mente jóven la cual le representa siempre bajo una forma sensible los objetos invisibles, y cuán dificultoso es enderezar las ideas que se han formado cuando éstas están torcidas. Así pues, cuando un alumno entra á estudiar la Cosmografía, preexiste en él, para dar un ejemplo, la idea (aunque falsa) de un movimiento real del Sol, pues diariamente lo vé levantarse por la mañana y ponerse por la tarde. Si á dicho alumno se explicara los movimientos del Sol, antes de tratar del movimiento real de la Tierra [lo que se acostumbra en muchos textos], no podria menos de confirmarse en su mente, la falsa idea de un movimiento real; y cuando pasando adelante viniese á conocer que todos los movimientos atribuidos al sol pertenecen realmente á la tierra, se verificaria un trastorno completo en sus ideas. Poco importa, á mi modo de ver, el que entrando en la *explicacion* de dichos movimientos, se le advierta que no son sino aparentes, pues es muy difícil que pueda formarse una idea exacta de lo que es solo aparente, cuando le falta la idea fundamental de

lo que es real; por lo tanto no podrán menos de formarse en su mente ideas falsas. A mas de esta, encuentran todavia los alumnos otras dificultades en el estudio de este ramo, y para allanarlas esperamos no parezca supérfluo un trabajo metódico al par que prolijo y penoso.

Entre otras causas que pueden producir esas ideas falsas hay dos, segun mi parecer: el defecto en que se suele incurrir de muchas repeticiones inútiles, como queda dicho, y la falta de órden y de unidad en las materias. En vista, pues, de lo que la experiencia nos ha dado á conocer, despues de haber ensayado diferentes métodos, el que mejor resultado ha producido, y por el cual los alumnos han aprovechado mas, ha sido el que, accediendo á las instancias repetidas de varios amigos, me he resuelto á publicar. No pretendo presentar en este tratado cosas nuevas, ni demostraciones peregrinas, aunque he procurado, en cuanto me ha sido posible, aumentarlo con nociones que se desearian en otros textos y con los nuevos descubrimientos de nuestros dias, sino tan solo ofrecer á los jóvenes un camino mas fácil para llegar á formarse una idea exacta del Universo, y un método mas claro en la exposicion de los fenómenos. Para ello he preferido mas bien un lenguaje sencillo antes que exponerme al peligro de ser oscuro [1]. A esto me ha obligado tambien el objeto que me he propuesto al hacer esta publicacion; pues, á la verdad, no solo presento mi escrito á los jóvenes que cursan este ramo, sino tambien á cualquiera otra persona que, no pudiendo dedicarse al estudio de la Astronomía desea tener algunos conocimientos exactos de los Cuerpos celestes. Con la simple lectura del texto, aún prescindiendo de la parte matemática, se le proporcionará las noticias necesarias para satisfacer su deseo con facilidad y sin mucho trabajo. Los que ejercitados en el cálculo matemático desean saber algo mas, tambien hallarán el modo de resolver las cuestiones mas fáciles de As-

(1) Y aun queriendo, lo diré francamente, no hubiera podido proceder de otro modo, atendida la dificultad que siempre presenta el tener que escribir en idioma extraño. Sobre este punto, me atrevo á reclamar la benevolencia del lector, si en este escrito hallare frases y giros que no sean del todo conformes á la pureza del idioma castellano, atendiendo á que mi objeto ha sido únicamente la enseñanza de un ramo de ciencias, sin pretension literaria de ningun género.

tronomía que puedan ocurrir. Así dejando para los alumnos solamente lo que á juicio del profesor basta para llenar el programa del ramo, lo restante puede servir para ampliar los conocimientos de los que se dedican al estudio de la Cosmografía únicamente por amor á la ciencia. De las figuras que representan el aspecto de los objetos celestes, puedo asegurar que no presento ninguna que yo mismo no haya visto ó verificado, ó que no lleve el testimonio de sábios astrónomos que las hayan comprobado; así es que no he podido valerme de obra ajena para la ejecucion del trabajo en el texto original, pues mucho depende de la exactitud del dibujo la idea que el lector se forma del objeto representado. No será pues extraño que en dichas figuras se halle alguna diferencia, y á veces notable entre ellas y las publicadas en otros textos: por otra parte, los que cuenten con medios para cómprobar por sí mismos y con buenos telescopios los objetos con los dibujos que presento podrán dar testimonio de la exactitud con que han sido ejecutados.

Espero, en fin, con este pequeño trabajo haber conseguido mi objeto, que no es otro que el de facilitar á los jóvenes el estudio de un ramo tan importante y difícil, y de proporcionar al mismo tiempo á las personas aficionadas á esta especie de conocimientos un entretenimiento agradable y provechoso, abriendo de este modo un campo mas vasto en que admirar las obras de Aquel á quien los cielos mismos ensalzan. *Cœli enarrant gloriam Dei.*

INTRODUCCION.

La Cosmografía, si atendemos al origen de la palabra, que se deriva del griego, significa propiamente descripcion del mundo (*τοῦ κοσμοῦ γραφή*): Ampére la llamó tambien Uranografía, ó sea descripcion del cielo (*τοῦ ὑρανοῦ γραφή*). Es por tanto una de las partes en que se divide la Astronomía propiamente dicha. (1) La Cosmografía, pues, por cuanto se la considera como base de todos los estudios astronómicos, bien puede llamarse tambien Astronomía elemental. Empero, antes de entrar en los detalles de los cuerpos celestes, es necesario dar de ellos una idea general para que puedan distinguirse fácilmente los unos de los otros, y se evite de este modo la confusion que podria resultar de una nomenclatura no bien definida.

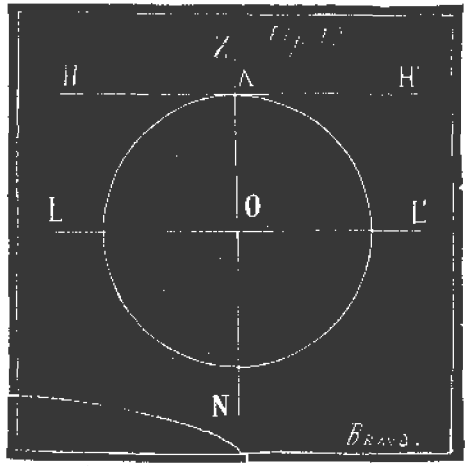
Todos los cuerpos celestes se dividen en varias clases y llevan diferentes nombres. Algunos tienen luz propia, otros son opacos y necesitan un cuerpo luminoso por sí que los ilumine para que puedan observarse. Todos estos cuerpos en general se llaman *astros*. Con todo mas propiamente se llaman *estrellas* los del primer género [á los cuales pertenece el sol], y *cuerpos errantes* los del segundo, que comprende los planetas, los cometas y los meteóros: estos últimos se subdividen en *estrellas* que se llaman *fugaces* ó *errantes*, *bólidos* ó *aerólitos*. De todos los estudios que se han hecho sobre los cuerpos celestes se deduce que su vida es el movimiento, pues todos se mueven girando los unos al rededor de los otros, no solo si se considera á ca-

(1) La Astronomía, como ciencia, se ha dividido en teórica y física: aquella es objeto de la parte matemática, ésta considera la constitucion y naturaleza de los Astros. Ampére la dividió en cuatro secciones: ó sea *Uranografía* ó *Cosmografía*, que es la descripcion del cielo; *heliostática*, cuyo objeto es la teoría del sol fijo; *mecánica celeste*, que estudia los movimientos de los astros, y *astronomía*, propiamente dicha, que trata de las leyes de los cuerpos celestes. A esto añadieron algunos la *astronomía práctica*, que abraza el método de observaciones, los instrumentos ópticos y los cálculos consiguientes.

da uno de ellos en particular, sino tambien en conjunto, pues que ligados entre sí por leyes fijas de mútua atraccion forman un sistema. Las estrellas que generalmente se llaman *fijas*, en realidad no son tales, sino porque siendo tan inmensa la distancia que nos separa de ellas, sus movimientos se nos hacen imperceptibles, á excepcion de unas pocas, cuyo movimiento se ha podido averiguar despues de largos estudios y repetidas observaciones. La naturaleza de estos astros brillantes no es dado á la ciencia averiguarla, ya sea por la distancia inmensa á que se hallan, ya por la falta de medios mas adecuados para el objeto: lo único que puede concluirse es tan solo una probable deduccion de lo que se observa en los cuerpos mas cercanos á la tierra. El estudio en que mas ha progresado la ciencia es principalmente con respecto al sol, á los planetas y á los demás cuerpos opacos, cuya observacion no ha sido difícil practicar por su cercanía á nosotros. Estos son justamente los que forman un solo sistema que llamamos sistema solar, al cual pertenece como planeta la tierra misma que pisamos. De todos estos cuerpos hablarémos separadamente, despues de haber dado algunas nociones preliminares que son la base del estudio de la Cosmografía.

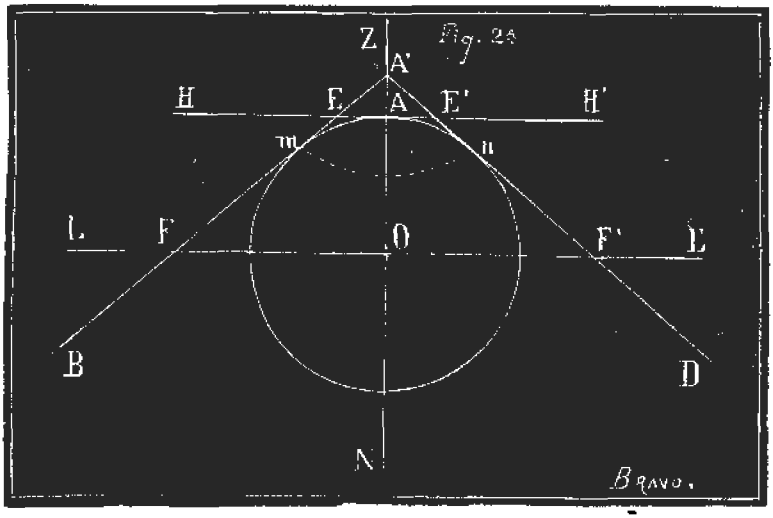
Nociones preliminares.

1. Cualquiera que mire al cielo fácilmente puede conocer que su forma se presenta como una inmensa bóveda hemisférica, la cual parece descansar sobre el plano de un círculo máximo determinado por el límite de los objetos terrestres y cuyo centro ocupa el observador. Este círculo se llama *horizonte aparente ó sensible.* Si se imagina una perpendicular al plano de dicho horizonte que pase por el vértice del observador, situado en A (fig. 1ª) y que se prolongue indefinidamente hasta encontrar á la esfera celeste en dos partes diametralmente opuestas, los puntos extremos Z y N de dicha línea se llaman polos del horizonte HH'; el que se halla en el vértice del observador se denomina *zenit,* el otro *nadír.* Concíbase un círculo máximo geométrico, cuyos puntos estén distantes del *zenit* 90°, *tendrémos otra* especie de horizonte LL' que se llama *racional.* No hay que confundir este horizonte con el que hemos llamado *aparente,* pues éste HH' es tangente á la superficie terrestre en el punto A, mientras que el otro LL' pasa por el centro O de la tierra; sin embargo, cuando se refieren á las estrellas situadas á una distancia infinita siendo paralelos estos dos horizontes, pueden considerarse como uno solo, viniendo en este caso á coincidir por ser inapreciable la distancia del centro O á la superficie A.



El límite de los objetos terrestres no es siempre el mismo para un mismo observador, sino que puede recibir alguna modificacion segun la altura á que esté situado el observador sobre la superficie

terrestre. Sea HH′ (fig. 2ª) el plano del horizonte aparente para un observador situado en A. Las visuales que engendran el círculo de dicho horizonte serán: AH, AH′; pero si suponemos que el ob—

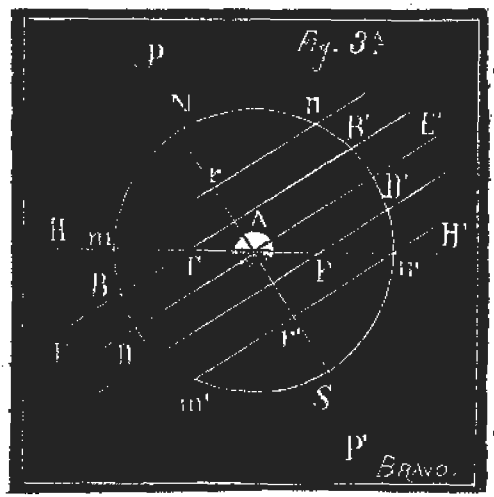


servador se eleve á un punto A′, las visuales tangentes al globo terrestre serán en este caso A′B, A′D, y formarán con el horizonte aparente HH′ y con el racional LL′ un ángulo HEB=H′ ED=(LFB =L′F′D), que lleva el nombre de *depresion* del horizonte: pues se deprime la visual del observador ensanchándose de este modo el campo de la vista. Dicha visual es la generatriz de un cono cuyo vértice se halla en el ojo del observador; su base es el mismo círculo del plano horizontal, cuya superficie vá aumentando segun que los puntos de tangencia *m* y *n* se alejan mas y mas del vértice A.

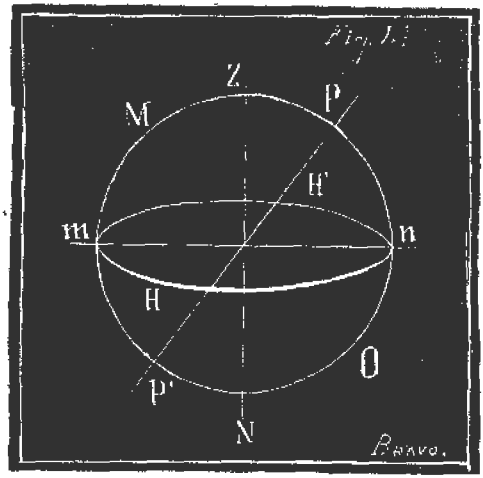
2. La esfera celeste no es real, sino imaginaria; pero su consideracion ayuda mucho para entender las leyes de los movimientos reales y aparentes de los astros. Cuando se mira al cielo en diferentes intervalos de tiempo en una noche despejada, se observa fácilmente que las estrellas conservando entre sí su distancia relativa, varían de lugar describiendo en la bóveda celeste diferentes círculos paralelos entre sí, cuyo plano en nuestros climas, es decir, fuera de los polos y del círculo ecuatorial, está inclinado mas ó menos sobre el plano del horizonte. Dichos círculos no son de la misma magnitud; pues desde cierta region del cielo (que se halla mas ó menos cercana á nuestro zenit, segun el punto del globo terrestre en que nos hallamos), en la que observamos ser mayores, van disminuyendo mas y mas por uno

y otro lado. Hay sin embargo una diferencia y es, que hácia un lado del zenit, las estrellas describen sobre el horizonte *arcos* de círculos que van siendo siempre menores segun se alejan del mismo zenit, hasta perderse en el horizonte mientras que al otro lado segun que las estrellas se alejan del zenit ya no describen arcos de círculos cortados por el horizonte, sino círculos enteros sobre el mismo horizonte. Dichos círculos van siendo siempre mas pequeños, hasta que en cierto lugar del cielo se reducen á un punto que parece inmóvil. Este punto fijo se llama *polo* de la esfera celeste. Si desde este punto se traza una recta que pasando por el ojo del observador se prolonga hasta otro punto diametralmente opuesto, que es el otro polo, esta recta será el *eje del mundo* al rededor del cual las estrellas describen diariamente los círculos que hemos dicho. Los dos polos llevan el nombre de *Norte* y *Sur*: el primero se denomina *ártico*, porque cerca de él se halla un grupo de estrellas llamado *Osa*, que en griego se dice *αρχτος* [arctos], y el otro *antártico* por ser opuesto.

3. Llámase *ecuador celeste* el círculo máximo que pasa por el centro de la esfera y corta perpendicularmente al eje del mundo. Este círculo divide la esfera en dos partes iguales que se llaman *hemisferios*. Aquel en que se halla el polo Norte se llama hemisferio *boreal*, el otro en que se halla el polo Sur se denomina *austral*. El ecuador es el único círculo que es cortado en dos partes iguales por el plano del horizonte en cualquier lugar de la superficie terrestre, ménos para un observador que estuviera en los polos, para el cual coincidirian ambos círculos: los otros círculos menores que describen las estrellas al rededor del eje del mundo paralelamente al ecuador, y que por eso se llaman círculos *paralelos*, quedan divididos por el horizonte en dos partes iguales. Supongamos á un observador en A (fig. 3), cuyo horizonte sea HH′ el cual forme con el ecuador EE′ un ángulo E′AH′: los círculos paralelos BB′ y DD′ quedarán divididos en partes desiguales, de las cuales la menor BC debajo del horizonte y sobre el ecuador EE′ estaria hácia el Norte, y la mayor DF debajo del

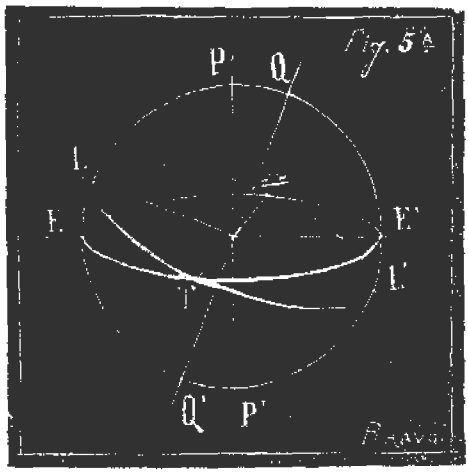


horizonte y del ecuador se hallaria en el hemisferio opuesto al del observador. Lo contrario se verifica con respecto á las partes de los paralelos que se hallan á su vez sobre el horizonte y son complementarias de las primeras. Los círculos menores *m n* y *m' n'* cuyos radios *mr*, *m'r'* determinan en el círculo máximo NÊSN un arco Nm (=Sn') igual ó menor que la altura del polo sobre el horizonte, nunca pueden ser cortados por éste. Las estrellas que los describen, estarán siempre sobre el horizonte, y por lo tanto serán siempre visibles. Si se trata de un círculo menor *m' n'* que esté debajo del horizonte y en el hemisferio opuesto, sus estrellas nunca podrán ser vistas por un observador colocado en A, por describir sus círculos siempre debajo del horizonte.



4. Llámase *meridiano* el círculo máximo MPO (fig. 4ª) que pasando por los polos PP' de la esfera celeste, y por el zenit del observador, corta perpendicularmente el plano del horizonte. La comun interseccion de estos dos planos se llama *línea meridiana*, representada por la recta mn.

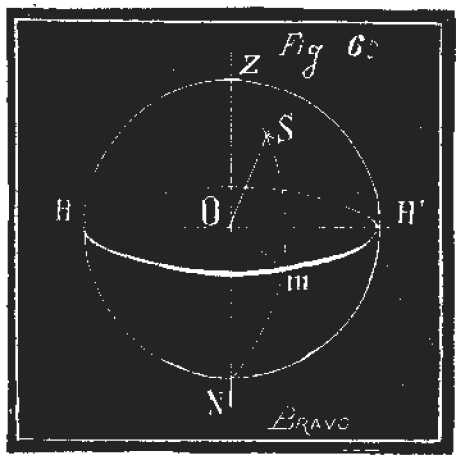
El círculo máximo LL' [fig. 5ª] que corta oblícuamente al ecuador EE' en dos puntos ♈ ♎ (*aries*, *libra*) que toman el nombre de puntos equinocciales ó *equinoccios* se llama *eclíptica;* y la línea que une dichos puntos se llama línea *equinoccial.* La inclinacion de la eclíptica sobre el ecuador forma un ángulo de 23° 27', el cual, sin embargo, es variable entre ciertos



límites. Imagínese que parte del centro de la esfera una recta QQ' perpendicular al plano de la eclíptica, y por consiguiente á la línea de los equinoccios: esta línea será el eje de la eclíptica, y sus extremidades marcarán en la esfera celeste dos puntos Q y Q' que serán sus *polos*. El eje de la eclíptica forma asimismo con el eje del mundo un ángulo de 23°27'. El polo boreal de la eclíptica se halla actualmente no muy lejos de una estrella que se llama α (alfa) del Dragon.

5. De lo que se ha dicho sobre estos círculos máximos, resultan tres sistemas de círculos que, cortándose mútuamente, forman ángulos de dos en dos, á los cuales se ha dado el nombre de *coordenadas:* por medio de las cuales se determina la posicion de los astros sobre la esfera celeste. En cada sistema se toma por plano fundamental un círculo máximo al cual se refiere el astro y son: el *horizonte*, el *ecuador* y la *eclíptica;* á cada uno de estos círculos corresponde otro círculo máximo que le sea perpendicular.

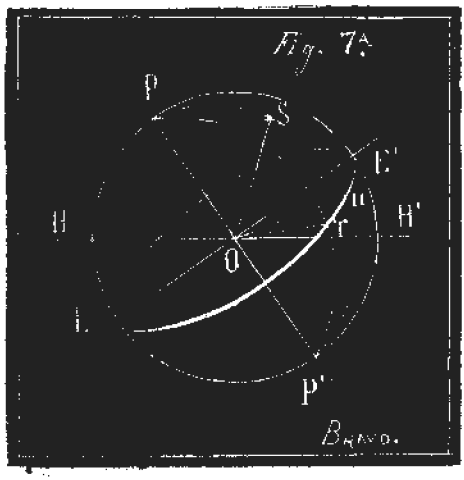
6. En el primer sistema, que tiene por plano fundamental el *horizonte*, al cual corresponde el *meridiano*, ó cualquier otro círculo que pase por el zenit del observador y la estrella, cortando perpendicularmente al horizonte, el ángulo que el radio visual dirigido al astro forma con el plano horizontal, se llama *altura ó altitud* del astro; ó de otro modo, la distancia de la estrella al horizonte medida sobre dicho círculo, que se llama *círculo de altura*, partiendo del horizonte hácia el zenit, se llama *altura del astro.* El ángulo diedro que el plano del círculo vertical ó de altura forma con el plano del meridiano, se llama *azimut;* ó de otro modo, el arco del horizonte comprendido entre el meridiano y el círculo de altura que pasa por el zenit y la estrella, se llama *azimut* del astro. Sea S el astro [fig. 6ª] HH' el horizonte, ZH'N el meridiano, el ángulo SOm será el ángulo de *altura* del astro, y el ángulo diedro H'ZOm será su *azimut:* ó de otro modo, el arco Sm es la *altura*, y el otro H'm el *azimut.* Estas dos coordenadas fijarán la posicion de la estrella S con relacion á la hora y el horizonte de lugar. La *altura* se cuenta de 0° á 90° sobre el círculo de altura medida del horizonte al zenit, y el azimut de 0° á



360° en el círculo horizontal, empezando por la parte del meridiano que se halla hácia el Sur, y siguiendo al Norte por el Poniente.

Mas frecuentemente en lugar de la altura Sm se suele tomar su complemento, es decir, el ángulo ZOS, ó la distancia ZS que se llama *distancia zenital* del astro: en este caso se empiezan á contar los grados desde el zenit hasta 180° debajo del horizonte.

7. El segundo sistema tiene por plano fundamental el *ecuador*, al cual corresponde un círculo máximo que pasando por los polos de la esfera celeste y por el astro, le es perpendicular, y se llama círculo de *declinacion*. Entre todos los círculos de declinacion que pueden imaginarse que pasen por los polos y cualquiera de las estrellas, se ha convenido en llamar *primero* al que pasa por el equinoccio de aries, que suele indicarse con el signo ♈. La distancia del astro al ecuador medida sobre el círculo de declinacion, empezando del ecuador, se llama *declinacion* del astro. A esta se ha convenido en llamar *positiva* (+), tratándose de un astro perteneciente al hemisferio boreal y negativa [—] si este se halla en el hemisferio austral. El ángulo diedro formado por el plano del círculo de declinacion de la estrella con el plano del *primer* círculo de declinacion, á saber, del que pasa por ♈, se llama *ascension recta* y se representa por AR; ó de otro modo, *ascension recta* es el arco comprendido entre el círculo de la declinacion que corta al ecuador en el equinoccio de aries, y el círculo de declinacion de la estrella medido sobre el ecuador segun la marcha con que pasan por el meridiano los puntos sucesivos de la esfera celeste de 0° á 360°, hallándose el 0° en el equinoccio de Aries. Así, sean PP' los polos [fig. 7ª], EE' el Ecuador, HH' el horizonte, S la estrella, ♈ el equinoccio de Aries: será el ángulo SOn la *declinacion* del astro, ó el arco Sn; y ♈n la *ascencion recta*, ó sea el ángulo nPO♈n. El ángulo SOn, que es la declinacion de la estrella, tiene por complementario al ángulo POS; este ángulo, que suele adoptarse con mucha frecuencia, se llama *distancia polar* de la estrella; en este caso los grados se empiezan á contar desde el polo hácia el ecuador.



8. Suele computarse frecuentemente sobre el ecuador la distancia del círculo de *declinacion* al meridiano, y entonces se llama *ángulo horario* la misma ascension recta, y *círculo horario* el círculo de declinacion. El ángulo horario no se cuenta por grados, sino por horas de 0^h á 24^h, empezando de 0^h cuando el equinoccio de Aries pasa por el meridiano dirigiéndose al Poniente. Así por ejemplo lo mismo es decir que una estrella tiene por ascension recta 30° como el que su ángulo horario es de dos horas, pues pasa en realidad por el meridiano dos horas despues de haber pasado por el equinoccio de Aries. Debe en ello tenerse presente que todos los astros recorren 15° en una hora; pues si dividimos los 360° que describen la estrellas en un dia, por las veinticuatro horas que tiene el dia tendremos por cuociente 15 [1].

9. El tercer sistema es relativo á la *eclíptica*, es decir, al plano que hemos dicho que forma con el ecuador un ángulo de 23° 27′. Para determinar la posicion de un astro con relacion á este plano fundamental, imagínese un círculo máximo que pase por los polos de la eclíptica y por el astro: este se llama *círculo de longitud:* la distancia del astro al plano de la eclíptica medida sobre dicho círculo, empezando desde la eclíptica de 0° á 90°, se denomina *latitud* del astro. El arco de eclíptica comprendido entre el círculo de longitud del astro y el equinoccio de Aries se llama *longitud.* Esta se cuenta sobre la eclíptica empezando desde el equinoccio de Aries hácia el Oriente de 0° á 360°.

10. Como se vé, estos tres sistemas son análogos, y las coorde-

---

[1] Fácilmente podemos convertir el ángulo horario [AH] en ascension recta (AR) y vice versa: multiplicando por 15 el ángulo horario se tendrá la ascension recta, y dividiendo por 15 la ascension recta se tendrá el ángulo horario. Sea el ángulo horario de una estrella AH = 14^h, 15^m, 4^s,

multiplicando $\times$ 15

tendremos: 210°, 225′, 60″,

reduciendo los segundos á minutos y los minutos á grados y dividiendo por 60 tendremos 3° 46′, por lo tanto será:

AR = 213°46′.

Una operacion inversa habrá que hacer para reducir la AR á AH.

Sea AR= 213° 46′: dividiendo por 15 resulta: 213°46′ | 15

63 14^h

Residuo 3

reduciendo á minutos los 3° de ascension recta y sumándolos con los 46′, darán: 226′ que divididos por 15 darán 15^m:

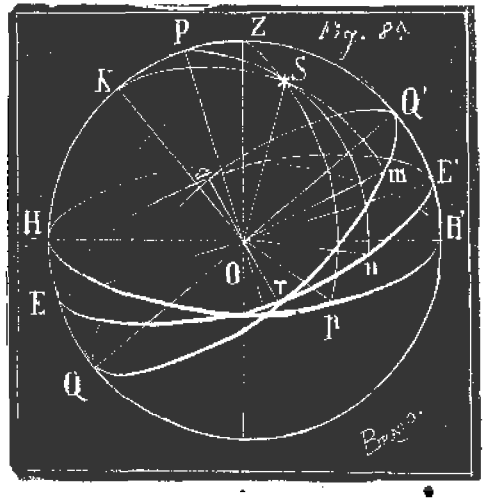
Será pues 226′ | 15

Resíduo 76 15^m

que reducido á segundos y dividido por 15 dará 4^s.

Así AR = 213°, 46′ =14^h, 15^m, 4^s en ángulo horario.

nadas toman diferentes nombres segun el plano fundamental á que se refieren: podemos ponerlas bajo un solo aspecto. Sea S la estrella [fig. 8ª], HH' el horizonte, EE' el ecuador, QQ' la eclíptica, PH'Q el meridiano: será *Sp* la altura, H'*p* el azimut; *Sn* la declinacion, ♈*n* la ascension recta, S*m* la latitud, ♈*m* la longitud. Será además ZS la distancia zenital complemento de la altura *Sp*, y PS la distancia polar complemento de la declinacion del mismo astro S.



11. Desde la antigüedad la eclíptica se ha dividido en doce partes iguales. Estas llevan cada una un signo propio que las representa relativo al grupo de estrellas que abraza. Cada uno de los signos ocupa 30°, y sus nombres se derivan de los nombres que los antiguos dieron á los mismos grupos que les correspondian. Es de notar, sin embargo, que aunque cada signo ocupe 30° en la eclíptica, con todo los grupos ó reuniones de estrellas que están bajo un mismo nombre, pueden abrazar y abrazan en realidad un espacio mayor ó menor del que se ha atribuido á los signos.

La zona ó faja del cielo que abraza la eclíptica, y se extiende fuera de ella por ambos lados 8° forma lo que se llama *Zodiaco*, y es el espacio en que se contienen los doce signos de 30° grados cada uno. Los nombres de los signos están comprendidos en estos dos versos latinos:

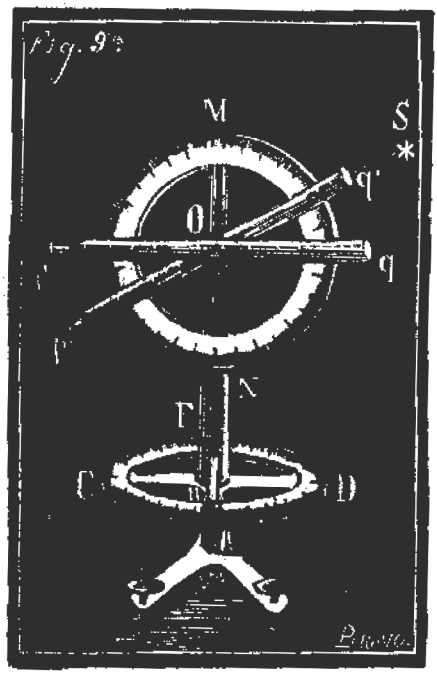
Sunt: *Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,*
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Los astrónomos suelen representar estos signos con las siguientes cifras correspondientes:

Aries,	Taurus,	Gemini,	Cancer,	Leo,	Virgo.
♈	♉	♊	♋	♌	♍
Libra,	Scorpius,	Arcitenens,	Caper,	Amphora	Pisces.
♎	♏	♐	♑	♒	♓

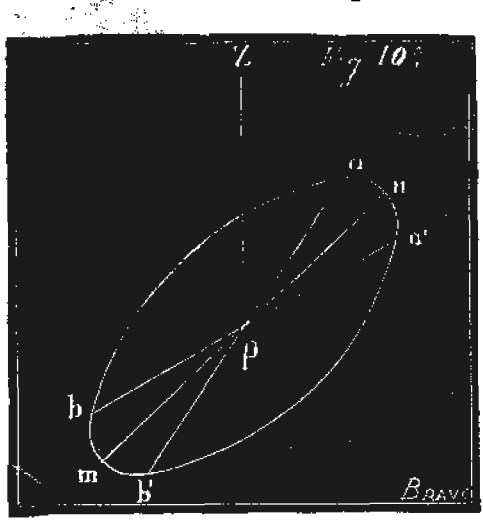
Medida de las coordenadas.

12. *Altura* y *Azimut*. Para medir la altura y el azimut de un astro se usa el teodolito. Se compone este instrumento de dos círculos graduados, uno vertical MN y otro horizontal CD (fig. 9ª). Mientras el horizontal CD queda fijo sobre el trípode, el vertical MN puede girar libremente pudiendo dirigirse á cualquier punto de la esfera celeste, pues se halla sostenido por un cilindro vertical F móvil al rededor de su eje. Este cilindro lleva en la extremidad una pequeña plancha metálica *n* en donde se halla graduado el vernier para apreciar las subdivisiones de los grados del círculo horizontal. Ordinariamente lleva tambien un pequeño lente de aumento para que se pueda leer con mayor facilidad las líneas de la graduacion. En el círculo vertical MN hállase fijo en el centro, pero movible en el sentido del plano vertical, un pequeño anteojo *pq*, cuyo eje, en la posicion horizontal, coincide con la línea que marca el cero de la graduacion. Como el principal cuidado que debe tenerse en este instrumento es que el plano del círculo horizontal CD esté exactamente paralelo al plano del horizonte, y que el eje del círculo vertical MN coincida con la vertical del lugar, así suele llevar el instrumento en el mismo círculo horizontal dos ó tres niveles por medio de los cuales se determina el paralelismo del círculo CD con el horizonte del lugar. Nivelado, pues, el instrumento se dirije el anteojo á una estrella cualquiera S, de modo que ésta se vea en el centro del campo del objetivo en la interseccion de dos hilos mútuamente perpendiculares que se hallan cerca del ocular: la posicion del anteojo *oq'* formará en este caso con la primera *oq* un ángulo *qoq'*,



cuyos grados se leen en el círculo vertical: estos grados indicarán la altura del astro sobre el horizonte, pudiéndose apreciar tambien por medio de un vernier las subdivisiones de los grados.

13. Por medio del teodolito podemos hallar la posicion del plano meridiano. Siendo este un círculo máximo que corta la esfera celeste en dos partes iguales oriental y occidental, pues pasa por nuestro zenit y los polos, todas las estrellas pasarán dos veces en 24^h por el círculo meridiano, con la diferencia que todas las estrellas cuyo paralelo es cortado por el horizonte podrán verse pasar por el meridiano una sola vez en dicho tiempo, por verificarse el segundo paso debajo del horizonte; pero las estrellas cuyo paralelo queda entero sobre el horizonte del observador, podrán observarse en sus dos pasos por el meridiano. Se dice que pasa una estrella por el meridiano *superior* cuando esta se halla en la parte del meridiano que se dirige del polo al zenit, é *inferior* cuando se halla entre el polo y el horizonte ó debajo de él. Ahora bien; si observamos una estrella circumpolar en las posiciones cercanas á su máxima y mínima altura sobre el horizonte, ó sea cercana á su paso superior é inferior, fácilmente podemos hallar la posicion del plano meridiano. En efecto, anótense las alturas iguales y correspondientes antes y despues del paso de una ó mas estrellas; en cualquiera de los dos casos la bisectriz del ángulo en la doble posicion del círculo vertical del teodolito dará la posicion del meridiano. Sean *a a'*, las alturas correspondientes cercanas al paso superior [fig. 10ª]; *b, b'* las alturas en su paso inferior, la bisectriz de los ángulos *a* P *a'*, *b* P *b'* formando una sola línea recta *mn* coincidirá con el plano meridiano.

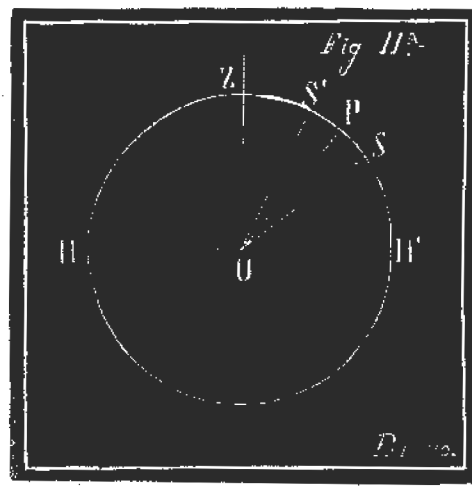


14. Averiguada de de este modo la posicion del meridiano, para hallar el azimut de una estrella no habrá mas que fijar la posicion del teodolito de manera que el plano del círculo vertical, coincidiendo con la línea del 0° en el plano horizontal, coincida tambien con la bisec-

triz hallada: de este modo colocado el instrumento cuando se dirige el anteojo á una estrella cuyo azimut quiera determinarse, no habrá mas que leer el número de grados que ha recorrido el vernier sobre el círculo horizontal.

15. Por un método análogo al anterior podemos determinar la posicion del eje del mundo, y de consiguiente la altura del polo sobre el horizonte, ó su complemento que es la distancia zenital. Para esto se observa la altura de una estrella circumpolar en su paso *superior é inferior* por el meridiano: la semisuma de dichas alturas halladas, dará la altura del polo sobre el horizonte. En efecto, sea ZPH el meridiano (fig. 11ª) HH' el horizonte, S y S' la posicion de la estrella en sus dos pasos por el meridiano. Como se trata de averiguar el valor del ángulo POH' tendremos: PH' = S'H' —S'P=S'H'—SP (pues tratándose de una estrella circumpolar el punto P se hallará en el centro del círculo descrito por la estrella en su movimiento diurno.) Mas SP $(=S'P)=\frac{S'S}{2}$ luego sustituyendo dicho valor resulta:

$$PH'=S'H'-\frac{S'S}{2}$$



Ahora S'S=S'H'—SH', luego será tambien:

$$PH'=S'H'-\frac{[S'H'-SH']}{2}.$$

Reduciendo el entero S'H' á forma de quebrado resultará:

$$PH'=\frac{2\,S'H'-(S'H'-SH')}{2}=\frac{S'H'+SH'}{2}.$$

Siendo pues S'H' y SH' las alturas de la estrella en sus dos pasos, bastará tomar su semisuma para hallar el valor del ángulo POH', ó sea la posicion del punto que es el polo.

Así mismo se demuestra que la semidiferencia de dichas alturas

dará la distancia polar de la estrella, pues siendo $S'P=\frac{S'S}{2}$ será tambien por lo dicho anteriormente $S'P=\frac{S'H'-SH'}{2}$.

Suponiendo $S'H'=63°$, y $SH'=41°$, será $PH'=\frac{63+41}{2}=52°$. La distancia polar de la estrella será expresada por $S'P=\frac{63-41}{2}=11°$, de otro modo, siendo $PS=PH'-SH'$, se deduce que la distancia polar de la estrella podrá tambien representarse por $SP=52°-41°=11°$, resultado idéntico al anterior.

Si queremos ahora hallar la distancia zenital mínima del astro, bastará restar la distancia polar de la estrella de la distancia zenital del polo representada por $90°-h$, (siendo h la altura del polo sobre el horizonte). En nuestro caso será: $ZS'=ZP-SP=90°-h-11°=$ $=90°-52°-11°=27°$. Si se tratara de hallar la distancia zenital máxima, tendriamos: $ZS=ZP+SP$. Para los dos casos valdrá la fórmula general: $Zs=ZP\pm SP$.

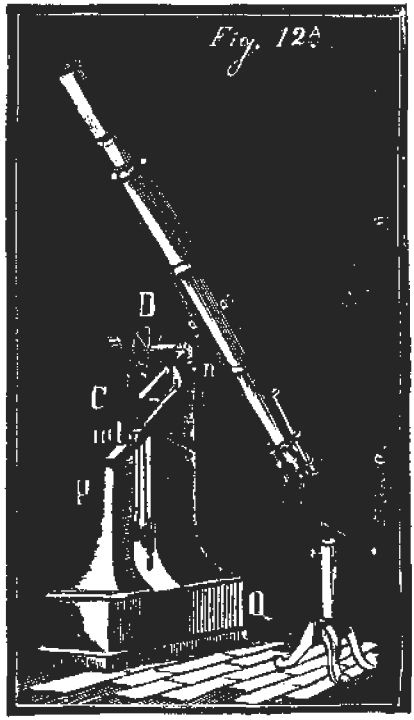
Cuando el astro observado fuera el sol, la luna, ú otro cuerpo celeste que presentara diámetro aparente, seria necesario tomar el centro del disco para determinar las coordenadas: bastará para ello hallar las tangentes diametralmente opuestas, y su semisuma dará el centro.

16. ***Ascension recta*** y ***Declinacion.***—Como los círculos horarios de cada estrella recorren los 360° del ecuador en 24 horas justas, es decir, 15° por hora, resulta que cada dia al fin de las 24 horas, vienen á coincidir sucesivamente con el plano del meridiano. El círculo horario de una estrella determinada, que suponemos se halle á 15° al Este del primero, pasará por el meridiano una hora despues. Así el tiempo que media entre los pasos de dos estrellas por el meridiano, es igual á la diferencia de ascension recta de las dos estrellas dividida por 15. Esto supuesto, despues de haber situado el círculo vertical del teodolito de modo que el vernier marque 0° en el plano del meridiano, como hemos dicho antes, se observa el paso de una estrella por el meridiano, anotando exactamente la hora que marca el cronómetro; en seguida se observa el paso de otra estrella por el mismo meridiano, (ordinariamente es el meridiano superior,) marcando asimismo la hora exacta: el tiempo que media entre estos dos pasos será el ángulo horario de la segunda estrella con respecto á la primera, el cual multiplicado por 15 dará la diferencia de ascension recta de las dos estrellas.

17. Con este método es fácil referir los pasos de las diferentes estrellas por el meridiano á un solo punto del cielo, cuyo círculo hora-

rio se tome por orígen de las ascensiones rectas. Este círculo horario fundamental es el que pasa por el equinoccio de Aries; por lo tanto todas las estrellas tendrán una diferencia de ascension recta, que varía segun la distancia á que se halla cada uno de sus respectivos círculos horarios de este primer círculo fundamental.

18. En los observatorios astronómicos se averigua la ascension recta de una estrella, aun fuera del meridiano, por medio de un telescopio que se llama *Ecuatorial.* Este instrumento está colocado sobre un macizo sólido, cuya parte superior forma un plano inclinado, y cuyo ángulo con el plano horizontal es igual al de la altura del polo sobre el horizonte del lugar. Para mayor claridad darémos aquí una breve descripcion. Sea PQ [fig. 12ª] el macizo sólido: en la parte superior del plano inclinado se halla fijo paralelamente al plano, y de consiguiente en la direccion del eje del mundo, un cilindro sostenido por dos caballetes *m, n:* en la extremidad superior de este cilindro se halla sujeto el telescopio, pero de modo que pueda girar en cualquier sentido al rededor de un punto, [que sostiene el telescopio] el cual coincide con la extremidad del eje del mismo cilindro. En la extremidad inferior está tambien fijo un círculo graduado C, que por ser perpendicular á dicho eje, coincide con el plano ecuatorial. Este círculo graduado está formado por dos círculos concéntricos; el interior puede girar con el cilindro moviéndose el anteojo en el sentido paralelo al ecuador,

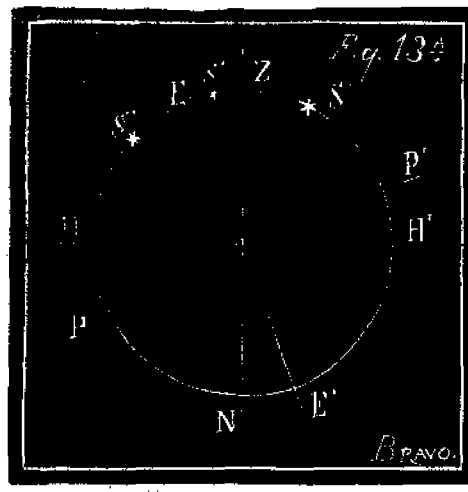


y lleva cuatro vernieres para las subdivisiones de los grados; el exterior, en donde propiamente se halla la graduacion, está fijo. El diámetro que en este círculo marca los grados de 0° á 180° coincide con el plano meridiano. Ahora, si con el anteojo se observa una es-

trella y despues otra, los grados que recorre el círculo interior, indicados por uno de los verniéres, darán la diferencia de ascension recta entre las dos estrellas.

19. Semejante mecanismo está aplicado á un círculo D en que la diferencia de los grados que ha tenido que recorrer el círculo menor dá la declinacion del astro. En caso de no poseer un instrumento de esa especie, podemos fácilmente conocer la declinacion de un astro por un medio indirecto. Averígüese con el teodolito su distancia zenital: conociendo además la altura del polo sobre el horizonte, no será difícil, con estos dos datos, hallar la declinacion de una estrella cualquiera del modo siguiente.

20. Es de advertir primeramente que los dos arcos P'H' y ZE (fig. 13) son iguales, por ser complementos del mismo arco ZP'. Supuesto esto se distinguen tres casos.



1º Cuando la estrella está entre el polo y el zenit; en este caso pasando la estrella por S, será: ES=ZE+ZS=P'H'+ZS; por lo tanto la declinacion de la estrella, que es la distancia de la estrella S al ecuador en el punto E, será igual á la altura del polo sobre el horizonte, mas la distancia zenital de la estrella, y formulando la demostracion resulta:

$$D=H+Z.$$

2º Caso. Si la estrella pasa por S' entre el zenit y el ecuador, resultará:

$$ES'=ZE-S'Z=P'H'-S'Z,$$

es decir, la declinacion en este caso, será igual á la altura del polo sobre el horizonte, menos la distancia zenital del astro, lo que formulado, será:

$$D=H-Z.$$

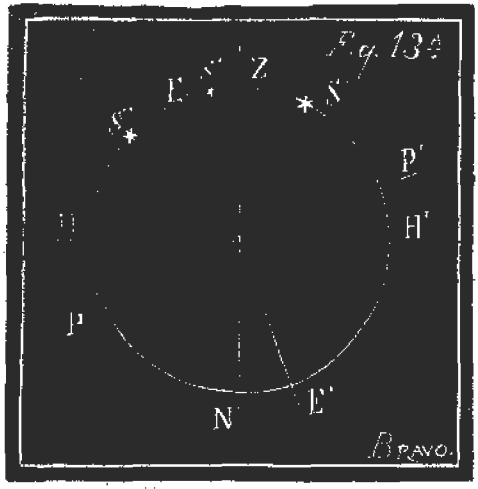
3º Caso. Si la estrella pasa por S'' ó sea entre el ecuador y el hozonte, la declinacion será expresada por

$$ES''=ZS''-ZE=ZS''-P'H',$$

trella y despues otra, los grados que recorre el círculo interior, indicados por uno de los verniéres, darán la diferencia de ascension recta entre las dos estrellas.

19. Semejante mecanismo está aplicado á un círculo D en que la diferencia de los grados que ha tenido que recorrer el círculo menor dá la declinacion del astro. En caso de no poseer un instrumento de esa especie, podemos fácilmente conocer la declinacion de un astro por un medio indirecto. Averígüese con el teodolito su distancia zenital: conociendo además la altura del polo sobre el horizonte, no será difícil, con estos dos datos, hallar la declinacion de una estrella cualquiera del modo siguiente.

20. Es de advertir primeramente que los dos arcos P'H' y ZE (fig. 13) son iguales, por ser complementos del mismo arco ZP'. Supuesto esto se distinguen tres casos.



1º Cuando la estrella está entre el polo y el zenit; en este caso pasando la estrella por S, será: ES=ZE+ZS=P'H'+ZS; por lo tanto la declinacion de la estrella, que es la distancia de la estrella S al ecuador en el punto E, será igual á la altura del polo sobre el horizonte, mas la distancia zenital de la estrella, y formulando la demostracion resulta:

$$D=H+Z.$$

2º Caso. Si la estrella pasa por S' entre el zenit y el ecuador, resultará:

$$ES'=ZE-S'Z=P'H'-S'Z,$$

es decir, la declinacion en este caso, será igual á la altura del polo sobre el horizonte, menos la distancia zenital del astro, lo que formulado, será:

$$D=H-Z.$$

3º Caso. Si la estrella pasa por S'' ó sea entre el ecuador y el hozonte, la declinacion será expresada por

$$ES''=ZS''-ZE=ZS''-P'H',$$

es decir, que la declinacion será igual á la distancia zenital de la estrella disminuida de la altura del polo sobre el horizonte; y la fórmula será entonces:

$$D = Z - H.$$

En este último caso el valor de D resulta negativo. En efecto, representando en general por D la declinacion, por Z la distancia zenital de la estrella y por H la altura del polo sobre el horizonte, tendrémos para los tres casos la fórmula general:

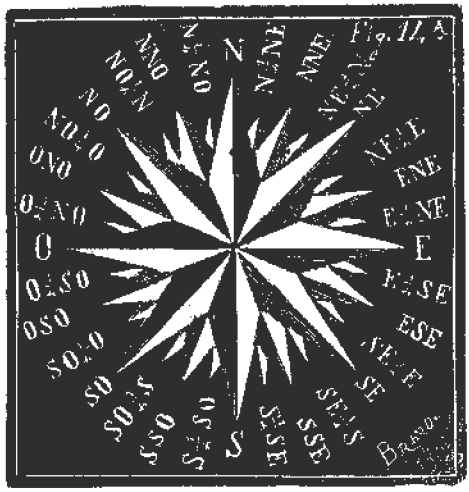
$$D = H \pm Z$$

en que, siendo para el tercer caso $Z > H$, la cantidad será negativa; por lo tanto, la estrella pertenecerá al hemisferio opuesto al del observador. Entre los astrónomos se considera como negativa la declinacion de los astros pertenecientes al hemisferio austral.

21. *Latitud y Longitud.* Estas dos coordenadas no se observan directamente, sino que se calculan por medio de fórmulas que dependen de la ascension recta y declinacion de los mismos astros.

22. Los antiguos, que carecian de instrumentos, usaban un método diferente de nuestro sistema moderno para medir los ángulos azimutales. Dividieron todo el círculo horizontal en cuatro azimutes principales de 90° cada uno, contando el 1º de 0° á 90°, el 2º de 90° á 180°, el 3º de 180° á 270°, y el 4º de 270° á 360° dando al orígen de cada arco, los nombres Sur (S.), Oeste (O.), Norte (N.) y Este (E.) que los modernos han conservado y se llaman *puntos cardinales.* Para indicar los ángulos secundarios de 45°, 135°, 225°, y 315°, dividieron cada azimut principal en dos partes iguales, cuya division llamaron Suroste (SO.), Noroeste (NO.), Noreste (NE.) y Sudeste (SE). Mas tarde fué necesario para mayor exactitud, intercalar los intervalos de los octantes por los puntos Sud Sudoeste (SSO.) y Oeste-Sudoeste (OSO.), Oeste Noroeste (ONO.) y Nor Noroeste (NNO.), Norte Noreste (NNE.) y Este Noreste (ENE). Este Sudeste [ESE.] y Sud Sudeste [SSE]. A estos azimutes llaman ahora los marinos *rumbos de los vientos,* á los cuales dan el nombre de la direccion de donde soplan. Se representa ordinariamente por un círculo dividido en 16 partes iguales y orientado, es decir, puesto horizontalmente de tal suerte, que los cuatro puntos principales Sur, Norte, Oeste y Este, corresponden exactamente á los cuatro puntos cardinales del observador, y la figura con que se representan dichas direcciones se llama *rosa de los vientos* [fig. 14]. Los modernos han añadido aún mas divisiones en dichos azimutes, y la rosa de los vien-

tos tiene hoy dia 32 rumbos; de modo que los intermedios de las subdivisiones vienen á ser las cuartas partes de los azimutes de 45°, y cuyo valor es de 11°, 25′ cada uno. Estas divisiones toman el nombre de los puntos mas cercanos, precedidas de la denominacion *un cuarto.* Así verbigracia: Norte un cuarto Noreste [N¼NE]. Noreste un cuarto Norte [NE¼N]. Sud un cuarto Sudoeste [S¼SO]. Sud este un cuarto Sud [SE¼S], etc. El fácil manejo de este sistema hace que los marinos no sepan apartarse de él, y en todos los buques la aguja de declinacion que indica á cada instante la direccion del meridiano magnético, por el cual se calcula la direccion del astronómico, dá á conocer tambien sobre la rosa de los vientos la direccion de ellos: este aparato se llama *brújula marina,* de la cual no hablarémos aquí por tratarse de ella en los cursos de Física.



LIBRO I.

DE LAS ESTRELLAS.

§ 1.

Del cielo estrellado.

23. Mirando al cielo en una noche serena, fácilmente se puede observar que todas las estrellas guardando siempre la misma distancia relativa entre sí tienen un movimiento comun de oriente á occidente, como si estuviesen pegadas á una esfera sólida cuyo centro ocupa el observador. Este movimiento que arrastra, digámoslo así, todas las estrellas, con una velocidad aparente mas ó menos grande, se llama *movimiento diurno*, y el tiempo que las estrellas emplean en recorrer los 360° en que está dividido cada círculo correspondiente, se llama *tiempo sideral*. Las veinticuatro horas justas que se emplean en recorrer los 360° volviendo al mismo meridiano, constituyen el *dia sideral*. La distancia entre dos estrellas, ó el ángulo que forman las dos visuales tiradas desde el ojo del observador á dos estrellas cualesquiera que se comparen entre sí, se llama *distancia angular*.

24. Todas las estrellas se dividen en *simples* y *múltiples*. Las simples son aquellas que consideradas aisladamente no dependen de otras; las *múltiples* son las que dependiendo unas de otras en su movimiento forman un sistema de dos, tres ó mas estrellas que ejercen entre sí una mútua atraccion. Estas se dividen en *dobles*, *triples*, *múltiples*, de las cuales una ó mas giran al rededor de la principal que está situada en el foco de la elipse que ellas describen. Para ayudar á la memoria en el estudio de las estrellas, se han dividido desde la antigüedad mas remota, en grupos distintos que llevan el nombre de *Constelaciones*. Los antiguos representaron estos grupos por medio de figuras, ya de séres vivientes, como hombres ó animales, ya

de séres inanimados. Así verbigracia Orion, los Gemelos, el Toro, el Navío, la Lira, etc. Las estrellas que pertenecen á una misma constelacion se nombran con letras griegas [1] y latinas: á veces se distinguen por la posicion que ocupan en la misma figura: así por ejemplo α [*alfa*] de la cruz, β [*beta*] del cáncer, γ [*gamma*] del Dragon, el ojo del Toro, el corazon del Leon, etc: otras han recibido nombres particulares de orígen árabe, como Antarés, Aldebarán, Fomalhaut, Rigel, etc.

25. Pareceria imposible numerar la infinidad de estrellas que brillan en el firmamento; sin embargo, como puede determinarse la posicion de cada una de ellas por medio de las coordenadas, así, varios astrónomos que se han ocupado en consignar en la sucesion de los tiempos la posicion de las que cada uno ha podido observar, se ha llegado á formar catálogos, por los cuales ha podido calcularse aproximadamente el número de las estrellas visibles. A Hiparco se debe el primer catálogo que Tolomeo conservó haciendo en él algunas pequeñas modificaciones, y en él se dá la posicion de 1,026 estrellas. Posteriormente otros astrónomos han aumentado este primer catálogo añadiendo un número mucho mayor de estrellas observadas por ellos mismos. El catálogo de Hévélius contiene 1,564 estrellas, el de Lacaille 9,776, que solo pertenecen al hemisferio austral, y que él observó en menos de diez meses por los años de 1751 á 1752. Taylor, Rumker, Lalande, numeran en sus respectivos catálogos el primero 11,015 estrellas, el segundo 12,000 y el tercero 47,390. El catálogo de Harding dá mas de 50,000. El último catálogo publicado por Otho Struve dá la posicion de 52,000 estrellas pertenecientes á los dos hemisferios.

26. Tratando mas abajo de un modo mas particular sobre el número de las estrellas, verémos claramente cómo á pesar de los esfuerzos é incesantes estudios de los astrónomos, éstos, sin embargo, están todavia bien lejos de tener apuntadas en sus catálogos todas las estrellas del cielo, y las que lo están no son mas que una parte muy pequeña de los innumerables astros que brillan en el firmamento.

---

[1] Las letras griegas son las siguientes.

α *alfa*,	ζ *dseda*,	λ *lambda*,	π *pi*,	φ *phi*,
β *beta*,	η *hetı*,	μ *mi*,	ρ *rhó*,	χ *jí*,
γ *gamma*,	θ, ϑ *zeta*,	ν *ni*,	σ *sigma*,	ψ *psi*,
δ *delta*,	ι *iota*,	ξ *csi*,	τ *tau*,	ω *oméga*.
ε *épsilon*,	κ *cappa*,	ο *ómicron*,	υ *ípsilon*,	

§ 2.

Brillo y número de las Estrellas.

27. Como el brillo de las estrellas no es el mismo en todas, así se han clasificado por órden de magnitud segun la intensidad de su luz. Hay estrellas de primera magnitud y son las mas brillantes del firmamento; vienen en seguida las de segunda, tercera, etc., hasta la décima sexta á que alcanzan los telescopios mas poderosos. De todas estas estrellas solo son visibles á la simple vista las que llegan á la sexta ó sétima magnitud; las demás quedan invisibles y es preciso usar el anteojo para poder observarlas. Las estrellas visibles sin auxilio de instrumentos, llegan casi al número de 5,000, o mas exactamente, segun Arágo á 4,684. Siendo difícil hallar un límite exacto entre los varios órdenes de las estrellas segun su magnitud, no están acordes los astrónomos en definir el número de las que pertenecen á cada magnitud. Se numeran de quince á veinte las de primer órden ó magnitud: lo mismo se verifica con respecto á los órdenes inferiores, aunque aumente mucho mas su número. Darémos aquí el número de las diferentes magnitudes sacado de los Catálogos mas acreditados. Segun Argelander el hemisferio boreal contiene:

9	estrellas	de	1ª	magnitud.
34	,,	,,	2ª	,,
96	,,	,,	3ª	,,
214	,,	,,	4ª	,,
550	,,	,,	5ª	,,
1439	,,	,,	6ª	,,

cuya suma total es 2342.

En cuanto al hemisferio austral, parece que cuenta sin error notable con un número mas ó menos igual en cada uno de los órdenes arriba indicados: por lo tanto tendrémos un número total de estrellas visibles sin ayuda de telescopio segun el órden siguiente para los dos hemisferios juntos:

18	estrellas	de	1ª	magnitud
68	,,	,,	2ª	,,
192	,,	,,	3ª	,,
428	,,	,,	4ª	,,
1100	,,	,,	5ª	,,
2878	,,	,,	6ª	,,

cuya suma total es de 4684.

La misma clasificacion ha sido continuada con relacion á las estrellas telescópicas empezando por las de sétima magnitud.

28. Todas estas estrellas están divididas en 117 grupos ó constelaciones, de las cuales 63 pertenecen al hemisferio boreal y 54 al austral. Las principales del hemisferio boreal son: la Osa mayor, la Osa menor, [en cuya cola á la extremidad hállase actualmente la estrella polar], Casiopea, Pegaso, Andrómeda, Perseo, la Lira, Hércules, Ofiuco, el Toro, el Aguila, el Perro menor, el Leon, Orión [que se halla en el ecuador y pertenece tambien al hemisferio austral]. Las principales constelaciones del hemisferio austral son: Sirio *(Canis maior)*, el Navío, la Cruz, el Sagitario, la Liebre, el Escorpion, Eridano, el Dorado, el Reloj, el Pez austral, el Escudo de Sobieski, etc. No será inútil indicar las estrellas de primera magnitud que pertenecen á cada hemisferio por órden de su brillo.

29. La mas brillante de todas es sin disputa Sirio *(α canis maioris)* y pertenece al hemisferio austral, despues siguen:

Canópo	(α *Navis*)	perteneciente	al	hemisferio	austral.
——	(α *Centauri*)	,,	,,	,,	,,
Arturo	(α *del Boyero*)	,,	,,	,,	boreal.
La Cabra	(α *Aurigae*)	,,	,,	,,	,,
Wega	(α *Lyrae*)	,,	,,	,,	,,
Rigel	(β *Orionis*)	,,	,,	,,	austral.
Procyon	(α *Canis minoris*)	,,	,,	,,	boreal.
Betelgeuse	(α *Orionis*)	,,	,,	,,	,,
Achernár	(α *Eridani*)	,,	,,	,,	austral.
Aldebarán	(α *Tauri*)	,,	,,	,,	boreal.
——	(β *Centauri*)	,,	,,	,,	austral.
——	(α *Crucis*)	,,	,,	,,	,,
Antarés	(α *Scorpionis*)	,,	,,	,,	,,
Altair	(α *Aquilae*)	,,	,,	,,	boreal.
La Espiga	(α *Virginis*)	,,	,,	,,	austral.
Fomalhaut	(α *Piscis australis*)	,,	,,	,,	,,
Régulus	(α *Leonis*)	,,	,,	,,	boreal.

De donde resultan diez en el hemisferio austral, y ocho en el boreal. Sin embargo, hay que añadir tres estrellas que algunos enumeran entre las de primera magnitud, y son β de la Cruz, β de los Gemelos, α del Cisne, la primera pertenece al hemisferio austral, las otras dos al boreal, de modo que los dos hemisferios vienen á tener casi el mismo número de estrellas de primera magnitud.

30. En cuanto al número de las estrellas que son solamente visibles con el telescopio, es preciso tener presente que Otho Struve halló que, hasta la sexta magnitud inclusive, el número de estrellas de cada clase es aproximadamente el triple del *número* de estrellas pertenecientes al órden precedente. De modo que tomando por base esta ley, podemos calcular con alguna aproximacion el número de estrellas que pueden verse con los telescopios de mayor alcance. Suponiendo ser 18 el número de estrellas de primera magnitud, tendrémos la siguiente progresion geométrica hasta las estrellas de 14ª magnitud:

$$18;\ 18 \times 3;\ 18 \times 3^2;\ 18 \times 3^3;\ 18 \times 3^4 \ldots\ldots 18 \times 3^{12};\ 18 \times 3^{13}.$$

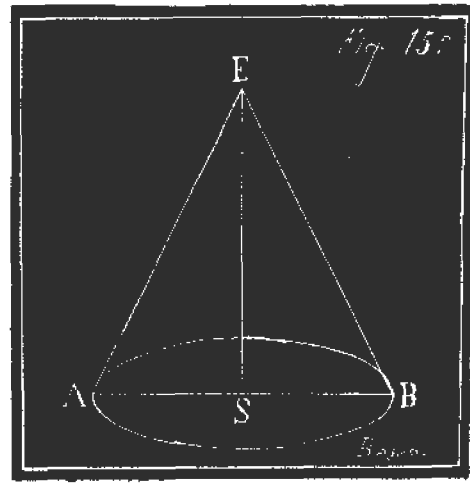
El último término 18×3^{13}, que pertenece á las estrellas de 14ª magnitud, dá 28.697,000 estrellas; el penúltimo dá 9.566,000, y la suma total de los 14 términos daria un número total de estrellas de 43.047,000. Es de notar, sin embargo, que si hay error en este cálculo, éste es sin duda por defecto, no por exceso. Y en verdad desde la 6ª magnitud para adelante la ley no está acorde con la observacion, puesto que resultando del cálculo para el hemisferio boreal casi 7,000 estrellas de 7ª magnitud, Struve pudo observar y registrar nada menos que 14,000, ó sea el doble; de lo que se deduce que el factor 3 es pequeño tratándose de calcular el número de las estrellas de un órden inferior á la 6ª magnitud.

§ 3.

Distancia de las estrellas.

31. Un observador puede siempre medir con sus instrumentos y verificar con el cálculo el valor de un ángulo en cuyo vértice se encuentre situado. Además, conociendo la base y dos ángulos de un triángulo, la trigonometría dá los medios para conocer los elementos de este triángulo, y de consiguiente la distancia del vértice á la base. Esto supuesto, sea E la estrella [fig. 15] cuya distancia queremos conocer. Sean A y B dos posiciones del observador con seis meses de diferencia [1]; trazando las líneas AE, BE, AB, resultará un triángulo AEB, cuyos elementos será necesario conocer, para averiguar la altura SE que representa la distancia de la estrella al Sol, que se llama *distancia heliocéntrica*. Cuando el observador se

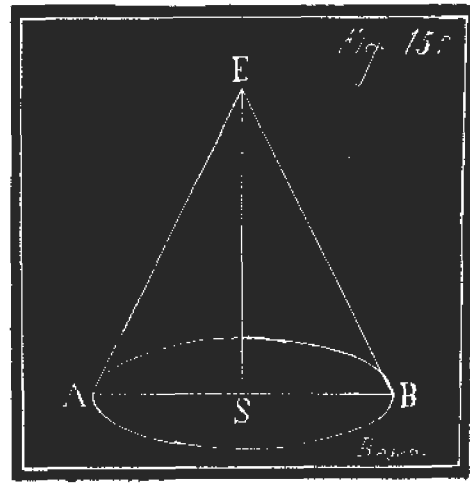
[1] Mas adelante verémos por qué sea necesaria esta circunstancia.



halla en A puede medir el ángulo EAB; hallándose despues en B podrá medir el ángulo EBA: la suma de estos dos ángulos mas el ángulo AEB debe ser igual á 180°. Restando de 180° la suma de los dos ángulos medidos A y B, se tendrá el valor del tercero AEB. La mitad de este ángulo se llama *paralaje anual* de la estrella. Por medio de cálculos trigonométricos se deducirá de esos datos la distancia ES y la distancia EA. En esta demostracion se supone la estrella en el polo de la eclíptica: si estuviera fuera de él en otro punto cualquiera, no resultando un triángulo isósceles, habria necesidad de hacer una correccion, para que el valor del ángulo de paralaje llegara á ser tal, como si la distancia AS hubiese sido vista perpendicularmente desde el punto E.

32. Por estos métodos se han obtenido los resultados que se hallan en el cuadro siguiente, relativos á la distancia de algunas estrellas. La primera columna dá á conocer el nombre de la estrella, la segunda el ángulo de *paralaje*, que tratándose de la estrella mas cercana no llega á ser 1″: la tercera dá la distancia de la estrella á la tierra en distancias solares, y la última esa misma distancia en millones de leguas.

NOMBRE.	PARALAJE.	DISTANCIA A LA TIERRA EN distancias solares.	millones de leguas.
α del Centauro	0.″91	226,400	8.603,200
61. del Cisne	0. 35	589,300	22.735,400
α de la Lira	0. 26	785,600	29.852,800
Sirio	0. 15	1.373,000	52.174,000
α de la Osa may.	0. 133	1.550,900	58.934,200
Arturo	0. 127	1.624,000	61.712,000
Polar	0. 106	1.946,000	73.948,000
La Cabra	0. 046	4.484,000	170.392,000



halla en A puede medir el ángulo EAB; hallándose despues en B podrá medir el ángulo EBA: la suma de estos dos ángulos mas el ángulo AEB debe ser igual á 180°. Restando de 180° la suma de los dos ángulos medidos A y B, se tendrá el valor del tercero AEB. La mitad de este ángulo se llama *paralaje anual* de la estrella. Por medio de cálculos trigonométricos se deducirá de esos datos la distancia ES y la distancia EA. En esta demostracion se supone la estrella en el polo de la eclíptica: si estuviera fuera de él en otro punto cualquiera, no resultando un triángulo isósceles, habria necesidad de hacer una correccion, para que el valor del ángulo de paralaje llegara á ser tal, como si la distancia AS hubiese sido vista perpendicularmente desde el punto E.

32. Por estos métodos se han obtenido los resultados que se hallan en el cuadro siguiente, relativos á la distancia de algunas estrellas. La primera columna dá á conocer el nombre de la estrella, la segunda el ángulo de *paralaje*, que tratándose de la estrella mas cercana no llega á ser 1″: la tercera dá la distancia de la estrella á la tierra en distancias solares, y la última esa misma distancia en millones de leguas.

NOMBRE.	PARALAJE.	DISTANCIA A LA TIERRA EN distancias solares.	millones de leguas.
α del Centauro	0.″91	226,400	8.603,200
61. del Cisne	0. 35	589,300	22.735,400
α de la Lira	0. 26	785,600	29.852,800
Sirio	0. 15	1.373,000	52.174,000
α de la Osa may.	0. 133	1.550,900	58.934,200
Arturo	0. 127	1.624,000	61.712,000
Polar	0. 106	1.946,000	73.948,000
La Cabra	0. 046	4.484,000	170.392,000

Por este cuadro se vé que la estrella más cercana á la tierra es α del Centauro, y que su distancia es 266,400 veces la distancia del Sol á la Tierra, la cual es=27.581,958 leguas, ó sea 82.745,784 millas geográficas (1). Refiriendo ahora estas mismas distancias á la velocidad de la luz, es de notar que, como demostrarémos más adelante, los rayos luminosos del sol emplean 8^m, 17^s, 8 para llegar á la tierra; de esto se deduce que la luz de las estrellas, cuya paralaje se conoce mejor, llega á la tierra en los intervalos de tiempo que se expresan:

α del Centauro	en	3	años	622	milésimas.
61 del Cisne	,,	9	,,	429	,,
α de la Lira	,,	12	,,	570	,,
Sirio	,,	21	,,	928	,,
α Osa Mayor	,,	24	,,	800	,,
Arturo	,,	25	,,	988	,,
Polar	,,	31	,,	136	,,
La Cabra	,,	71	,,	744	,,

Se infiere de aquí que puede haber aún muchas estrellas situadas á una distancia tan grande de la tierra que su luz no ha llegado todavia hasta nosotros.

§ 4.

Movimiento propio de las estrellas.

33. Aunque á la simple vista parezca que las constelaciones conservan siempre la misma figura y que las estrellas que las constituyen, guardan la misma proporcion de distancia entre sí, sin embargo, las observaciones modernas han dado á conocer que un gran número de estrellas tienen un movimiento propio, y que probablemente despues de muchos siglos la forma de las constelaciones acabará por cambiar. Se conocen en el dia 21 estrellas cuyo movimiento propio pasa de 1″ por año; en este número se hallan cuatro estrellas de 1ª magnitud á saber: α del Centauro, Arturo, Sirio, Procyon. La que se mueve con mayor velocidad es una estrella de la Osa mayor que recorre 7″, 1 por año. Tambien nuestro sol, que es un astro luminoso á la par de las estrellas más lejanas de la tierra, tiene un movimiento propio en el espacio (2). Herschel halló que en su movimiento se dirige hácia la constelacion de Hércules, siendo su velocidad de 70,000 miriámetros por dia, segun Bessel; con todo, Arago sostiene la opinion de que es de dos leguas por segundo, ó sea 78,001 miriá-

(1) Tratando de la paralaje del Sol en el Lib. 3º cap. 3º § 3º, verémos cuál es la distancia más aproximada del Sol á la Tierra.

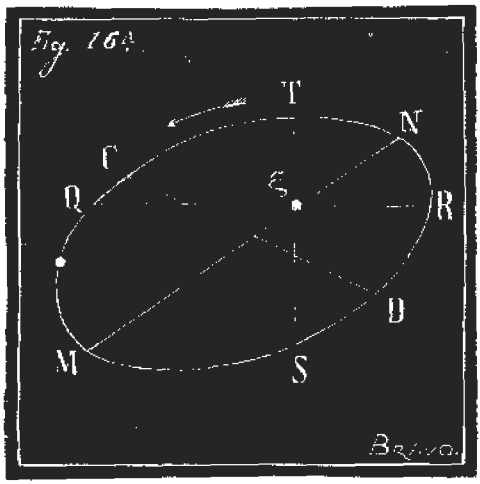
(2) No se habla aqui del movimiento que se le observa en un dia y en un año, pues de éste hablarémos despues.

metros ó 172,800 leguas por dia (Tomo 2º pág. 33). Probablemente sigue la ley de la atraccion universal, describiendo una curva al rededor de algun centro que es difícil conocer.

§ 5.

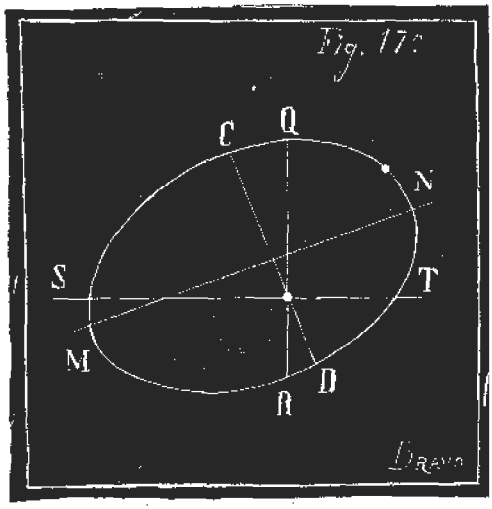
Estrellas dobles, triples, múltiples y variadas.

34. *Dobles.*—Las estrellas dobles son un sistema de dos estrellas (1), de las cuales una, que ordinariamente es la más pequeña, gira al rededor de la otra, describiendo una elipse, cuyo foco ocupa la mayor. Por medio de tres observaciones hechas á una distancia de tiempo conveniente, puede determinarse la órbita. Sirva de ejemplo la órbita que la estrella más pequeña describe al rededor de ξ de la Osa mayor, la cual emplea poco más de 66 años en cumplir su revolucion. La fig. 16 representa dicha órbita en la cual el eje mayor verdadero (por ser la órbita aparente) está representado por la direccion de la recta MN, y el eje menor por CD. QR representa el círculo paralelo descrito por la estrella, y TS el círculo horario. El diámetro aparente de esta órbita no pasa de 5″ en arco. La otra órbita, que mas fácilmente se ha podido trazar y observar, es la de la estrella doble ζ de Hércules, cuyo diámetro



(1) El descubrimiento de las estrellas dobles se debe á Herschel, el cual despues de haber construido su poderoso telescopio, quiso ensayarlo buscando la distancia de las estrellas por medio de la paralaje. Tomó, en efecto, las distancias de varias estrellas que parecian muy cerca la una de la otra, esperando el intervalo de seis meses para observar la variacion de sus distancias aparentes. Pero quedó no poco sorprendido, cuando observó las variaciones, no solo de la distancia recíproca de las dos estrellas, sino tambien de su direccion. Continuando sus estudios sobre este fenómeno, puso fuera de duda que muchas de dichas estrellas tenian un movimiento recíproco, á saber: que permaneciendo la mayor en el foco de la elipse, la otra giraba á su rededor como un satélite.

aparente no es mayor de 2″, y está representada en la fig. 17. Muchas veces acontece que, estando tan cercana la una de la otra, acaban por confundirse en una, por hallarse las dos en la direccion de la misma visual. Este fenómeno se verificó especialmente en la ξ de la Libra en 1859, la cual, siendo triple, pareció doble, pues que las dos mas cercanas se hallaban sobrepuestas.



35. La duracion de la revolucion es muy variable para diferentes estrellas. Darémos aquí un cuadro de las principales estrellas dobles, cuyo período se conoce mayor certidumbre.

6ª	del Eridano hace su revolucion en		30	años	
ζ	de Hércules	,,	36	,,	36
η	de la Corona Boreal	,,	42	,,	50
ξ	de la osa mayor	,,	66	,,	68
ω	del Leon	,,	82	,,	53
γ	de la Vírgen	,,	182	,,	12
ρ	de Ofiuco	,,	80	,,	34
δ	del Cisne	,,	178	,,	70
ξ	de Bootes	,,	117	,,	14

Hay además en el hemisferio austral las estrellas α de la Cruz, y α del Centauro, cuyo período es de 77 años, y Sirio con su satélite, cuyo descubrimiento despues de repetidos estudios, ha sido un verdadero triunfo para la ciencia en estos últimos años. Las irregularidades observadas por Bessel en el movimiento propio de Sirio, dieron motivo para sospechar que este tenia en las inmediaciones algun cuerpo perturbador. Las observaciones repetidas por los astrónomos Peters y Safford confirmaron los resultados de Bessel, pero hasta 1862

no fué posible ver el satélite, aún con los telescopios mas poderosos. En Enero de 1862, estudiando Clark los movimientos de Sirio, pudo comprobar la hipótesis de Bessel por el brillante descubrimiento de su satélite. Algunos habian creido que algun cuerpo opaco fuera la causa de las perturbaciones de Sirio, pero la hipótesis mas plausible que puede dar la razon de no haberse podido ver antes el satélite, parece ser la que dijimos, á saber: que hallándose las dos estrellas en la direccion de la misma visual, estaban sobrepuestas.

36. Las estrellas dobles no son escasas en ambos hemisferios; su número llega quizá á algunos miles. Los astrónomos se ocupan de ellas, pero solo con el tiempo pueden obtenerse resultados exactos.

37. *Triples.*—Además de las estrellas dobles hay tambien las triples, es decir, el conjunto de tres estrellas que mútuamente dependen una de otra en su movimiento. La disposicion de cada una y el sentido del movimiento es muy diverso en cada sistema. En la triple ψ de Casiopea, la segunda gira al rededor de la mayor, y la tercera al rededor de la segunda. En la ξ de la Ballena y 12 de la Lince, se observa el particular fenómeno de que las dos estrellas más pequeñas, girando al rededor de la mayor, ejecutan sus movimientos en sentido contrario. En la triple ζ del Cáncer, la que se halla mas cerca de la mayor, cumple su revolucion en 59 años, la otra que está algo más lejos la cumple en 497 aproximadamente. Las estrellas triples son en número mucho menor que las dobles. El astrónomo Otho Struve, habiendo observado mas de 120,000 estrellas, halló que sobre este número habia 3,057 dobles, y solamente 52 triples.

Hay tambien sistemas de más estrellas que las triples, pero son en número mucho menor, y los astrónomos no fijan mucho en ellas su atencion.

38. *Periódicas.*—Llámanse periódicas aquellas estrellas que no conservan siempre la misma intensidad de luz, sino que en un período fijo, que puede ser más ó menos largo para cada estrella, pasan de un órden superior á un inferior, y viceversa. De estas hay varias segun el período. En la constelacion de Cefeo hay la estrella δ que varía de la 3ª á la 5ª magnitud en el período de 5^d, 8^h, 37^m: α de Hércules pasa de la 3ª á la 4ª magnitud, y tiene un período de 60^d, 6^h; la 34 del Cisne que es de 6ª magnitud, pasa á ser totalmente invisible, cumpliendo su período en 18 años: β de la Lira, que es de 3ª magnitud, pasa á la 5ª con un período de 6^d, 9^h. Pero entre todas las periódicas las más notables son Algol (β de Perseo) y o de la Ballena: la primera es de 2ª magnitud, y permanece con ese brillo durante 2^d, 14^h, pasa despues á su 4ª magnitud en el espacio de 3^h, 30^m, y otro tanto tiempo emplea en volver á su

magnitud primitiva para empezar de nuevo el período: la segunda es *mas notable aún*. Tiene un período de 11 meses, ó más exactamente, de 334 dias. Por el espacio de 15 dias permanece constantemente en la 2ª magnitud, disminuye en seguida paulatinamente, hasta que á los 3 meses se hace del todo invisible; pasados cinco meses vuelve á aparecer, aumentando siempre su brillo por 3 meses, hasta que llegando á ser de 2ª magnitud, vuelve de nuevo á empezar su período. Una particularidad se verificó en esta estrella, pues como refiere Hévélius, fué enteramente invisible por el espacio de cuatro años, es decir, de 1672 á 1676.

39. Para explicar este fenómeno hay dos hipótesis: 1ª que estas estrellas no son igualmente luminosas en toda su superficie, sino que esta es en parte opaca, y girando al rededor de su eje presentarian sucesivamente todas estas faces; 2ª que girando al rededor de ellas algun cuerpo opaco las eclipsa, impidiéndonos su vista. La primera no parece muy probable, si se atiende á que, en los astros cuya constitucion física conocemos mejor, no hay ninguno que presente dicho fenómeno, á menos que no sea del todo opaco y refleje la luz de otro astro luminoso por sí mismo. Queda, pues, la segunda que es más aceptable, pues vemos verificarse dicho fenómeno con la luna, el sol y otros cuerpos más cercanos á la tierra. Sin embargo, dichas hipótesis no dejan de ser simples conjeturas á las cuales no debe darse mucha importancia.

40. *Variables.*—No todas las estrellas que varían en la intensidad de su luz son periódicas; hay algunas que, sin período alguno, van aumentando en brillo, y de un órden inferior pasan á formar parte de las de una magnitud superior; mientras que otras disminuyen en intensidad, de modo que, si en un tiempo eran clasificadas en el número de las de 1ª ó 2ª magnitud, posteriormente han quedado en un órden inferior. Entre las variables se enumeran las estrellas β de la Libra, β del Leon y α de la Hidra, que pertenecen á la 2ª magnitud; mientras que en tiempos mas remotos eran de la 1ª. Es singular en el hemisferio austral la estrella η del Navío: ésta era solo de 4ª magnitud en 1680, mientras que un siglo antes pertenecia al número de las estrellas de 2ª, y en 1867 era de 1ª y casi tan brillante como Arturo. No es tampoco raro el que ciertas estrellas, no solo hayan pasado á magnitudes inferiores por la diminucion de su luz, sino que han desaparecido completamente. La estrella 42 de la Vírgen, que existe en el catálogo zodiacal de Zach, no ha sido posible verla en tiempos posteriores. "No la he podido hallar el 9 de Marzo de "1828, dice Herschel, ni despues por mas que la he buscado en el "campo de mi reflector de 20 piés, á menos que no sea una de las "dos estrellas de 9ª magnitud que se hallan muy cerca del lugar que

"le habia sido fijado." Esto explica por qué comparando los catálogos antiguos con el estado actual del cielo, se reconoce que faltan muchas estrellas.

41. *Temporarias.*—No ha sido raro ver aparecer de repente en el cielo unos astros luminosos que, despues de cierto tiempo más ó menos largo, han desaparecido enteramente y no han vuelto á verse mas. Esta especie de estrellas se llaman *temporarias* ó de poco tiempo. Tal fué una, cuya aparicion por los años de 125 antes de Jesucristo llamó la atencion de Hiparco, y fué causa de que éste astrónomo emprendiera el trabajo de formar un catálogo. El año 389 de la era cristiana, apareció de repente una estrella en la constelacion del Águila, cuya luz superaba sobremanera á la de Sirio, y acabó por desaparecer completamente á la tercera semana de su aparicion. Posteriormente fué observada una estrella nueva en la constelacion de Escorpion en el Siglo IX, la que resplandeció solamente por cuatro meses como una estrella de primera magnitud, y despues de ese tiempo no se volvió á ver mas. Mas singular todavia fué la de 1572. Volviendo del observatorio á su casa Tycho-Brahé el 11 de Noviembre, halló con gran sorpresa una multitud de gente reunida en la plaza. Admirado de la novedad preguntó el motivo de tal reunion, á lo que se le respondió indicándosele un lugar del cielo en donde habia aparecido repentinamente una estrella de una luz brillantísima. Al punto reconoció estar situada en la constelacion de Casiopea y ser una estrella del todo nueva. En los dias siguientes fué aumentando de tal modo su brillo, que aun de dia podia verse á la simple vista; pero á fines de Noviembre del año siguiente ya habia disminuido sensiblemente su luz, y desapareció del todo en Marzo de 1574, despues de 16 meses en que habia sido visible. Piensan algunos que esta estrella, á la cual dieron el nombre de *Peregrina*, es periódica, pues refiere la historia que tambien en 945 y 1264 se vió una estrella nueva en la constelacion de Casiopea. Si esto fuera verdad, pues que el período es de poco más de 300 años, ó más exactamente, 308 y 319 años, deberia volver á aparecer en el espacio de 1882 á 1893 (1). El 10 de Octubre de 1604 se vió asimismo una

(1) Mucho se ha hablado de esta estrella que algunos llaman *Estrella de Belen*, pues creen que es la misma que apareció á los Santos Reyes Magos, al tiempo del nacimiento del Señor. La probabilidad de que pudiera verse de nuevo ha llamado la atencion de los Astrónomos, los cuales han intentado calcular aproximadamente el tiempo de su próxima aparicion, y no ha faltado quien creyera que debia aparecer en 1883.

Si tratamos de averiguar la época de dicha aparicion, no tenemos más que examinar el valor en años del período de su visibilidad. Para esto observarémos, que, segun la historia, la estrella ha sido visible en los años 945, 1264, 1572. Ahora bien, en el primer intervalo de tiempo han trascurrido 319

estrella no menos brillante en la constelacion de la Serpentaria, siendo visible hasta fines de Octubre del año siguiente. Puede citarse tambien la estrella de 3ª *magnitud descubierta por el P. Anselmo en* 1670, en la constelacion del Cisne, la cual, habiendo desaparecido totalmente por poco tiempo, volvió á hacerse visible variando en la intensidad de la luz y despues de haber pasado por todos los órdenes de magnitud, se hizo completamente invisible y no ha vuelto á verse hasta la fecha.

---

años y en el segundo 308. Si pues, fundándonos en que hay en el cielo otros cuerpos que presentan sus fenómenos en períodos de tiempo alternativamente desiguales, como son los pasos de Vénus y de Mercurio sobre el disco del Sol, suponemos que suceda lo mismo con una estrella, podrémos intercalar alternativamente dichos intervalos. En este supuesto hallarémos las épocas de su visibilidad del modo siguiente:

Aparicion de la estrella observada por Tycho-Brahé en.....1572.
Remontándonos hácia atrás un período de años.....=308,

fué vista la estrella, segun la historia, en.....1264.
Remontándonos otro período de años.....=319,

hallarémos la época de su visibilidad en.....945.
Restando de esa fecha el período alternado de años.....=308,

probablemente tuvo que aparecer la estrella en.....637.
Si todavía disminuimos un período de años, hallarémos otra época probable de su visibilidad en el año.....319
de la era cristiana, de la cual restando aún.....308

años, tendrémos la época de su aparicion más próxima al nacimiento del Señor en el año.....11
de la era cristiana. Bajo esta hipótesis podemos concluir que si dicha estrella es realmente la *Estrella de Belen*, tuvo que adelantar extraordinariamente 11 años su aparicion para dirigir á los Reyes Magos, y entonces hubo de tener extraordinariamente dos períodos seguidos de 319 años al principio de la era cristiana, siguiendo despues su alternativa de 308 y 319 años: ó si apareció realmente el año 11, erróneamente se le dá el nombre de *Estrella de Belen*, y por tanto la que guió á los Santos Reyes á la gruta de Belen fué una estrella de otra especie. En esto hay que advertir, que si admitida la aparicion de la estrella el año 11, nos remontáramos á un período correspondiente de 319 años, hallaríamos otra época probable de su visibilidad el año 308 antes del nacimiento del Señor; número que, siendo el mismo que el del período alternado, daria alguna probabilidad á la hipótesis del adelanto extraordinario de 11 años. Con todo, no es nuestra intencion entablar una discusion sobre el particular. Dirémos solamente que algunos esperaban su vuelta en el año de 1883, ó á lo menos antes de 1885; sin embargo, por lo dicho anteriormente, como la última época de su visibilidad se verificó en 1572, añadiendo á esa fecha el correspondiente período de 319 años, resultará que la época más probable de su vuelta es solo en 1891. Y decimos el período correspondiente de 319 años, pues á añadirle el de 308 años resultaria erróneamente el año 1880, en el cual por cierto no se ha dejado ver; ni tampoco hay razon suficiente para variar el período alternado á fin de que la hubieran podido esperar con alguna probabilidad, antes de 1885 los que así lo creyeron.

42. *Coloreadas.*—No todas las estrellas son blancas como parece, sino que presentan, vistas con el telescopio, diferentes colores. Entre las simples tienen un tinte de rosa muy pronunciado Aldebarán, Arturo, Antarés, Orion, Pollux. Canopo tiene algo de azul. Entre las dobles se observa ordinariamente que ofrecen el singular fenómeno de presentar colores complementarios. Así la ι del Cáncer, de la cual la mayor es amarilla y la mas pequeña azul; la α de Hércules es encarnada y verde; son blancas y azules las siguientes: β de Orion, δ de los Gemelos, ζ de la Corona, α de la Serpiente, β y ζ de la Lira: son blancas y rosadas δ de Orion, π de Hércules: las dos β de Cefeo son azules, como tambien las 28 de Andrómeda, y la γ del Dragon. En caso que presenten colores complementarios, la más grande ordinariamente es encarnada ó anaranjada, y la más pequeña azul ó verde. Asímismo, si la mayor es amarilla, la más pequeña es azul; y si la primera es carmesí, la segunda tiende al verde. En la α de Andrómeda que es triple, la mayor es amarilla; de las otras dos, la más grande es carmesí, y la más pequeña es verde. De estas estrellas ha habido algunas que no siempre han conservado el mismo color. Sirio, por ejemplo, fué en un tiempo encarnado, pues sabemos que Horacio lo llama *rubeus*, y Ciceron *rutilus*, pero actualmente es de un blanco brillante.

No pertenece á la Cosmografía explicar la causa de la variedad de los colores en las estrellas. Varios astrónomos se han ocupado del asunto. Quien desea inquirir la razon suficiente de dichos colores, puede consultar á Arago (Astronomie populaire t. 1º pág. 457, edition de Paris 1857), y más especialmente la célebre disertacion del P. Sestini publicada en Roma el año 1847, que puede decirse es la única que de propósito ha tratado la cuestion con mayor probabilidad.

§ 6.

Nebulosas.

43. Llámanse nebulosas unas manchas blancas de luz más ó menos viva que se ven en varias partes del cielo estrellado, y tienen alguna semejanza con el aspecto que representan las nubecillas formadas de ligeros vapores. Algunas son visibles sin necesidad de instrumento alguno, otras y son la mayor parte, no pueden observarse sino por medio del telescopio. Hay varias especies que podemos clasificar en *grupos* propiamente dichos, *nebulosas resolubles* y *nébulas*. Los *grupos* son aquellas nebulosas que observadas aún con medianos telescopios pueden resolverse y separarse en sus partes, presentándose entonces al ojo del observador como una multitud de puntos brillan-

tes que encantan á la vista, y que por su mucha aglomeracion es imposible enumerar. Ordinariamente son estrellas dispuestas en forma circular, y con regularidad al rededor de un centro en donde se hallan las más brillantes. Tales son los *grupos* de Hércules, de la Libra, del Acuario, los tres de la Serpentaria, etc. En el hemisferio boreal se encuentran hasta treinta de estos grupos, y otros tantos en el hemisferio austral. Algunos de estos últimos, segun Herschel, son muy superiores á los del hemisferio boreal, como el que se halla cerca de la constelacion de Argos y los dos del Sagitario, que tienen una forma irregular. Para que se tenga una idea de tales grupos, darémos aquí el dibujo de dos, uno de los cuales (fig. 18ª) se halla en la constelacion del Acuario (AR = 21^h, 25^m. Decl. = 1° 34′) y el otro en la de los Perros de caza, (fig. 19): (AR = 13^h, 36^m. Decl. = + 29°, 11′).

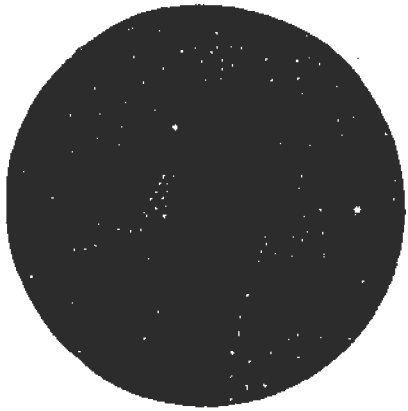


Fig. 18.—Grupo del Acuario.

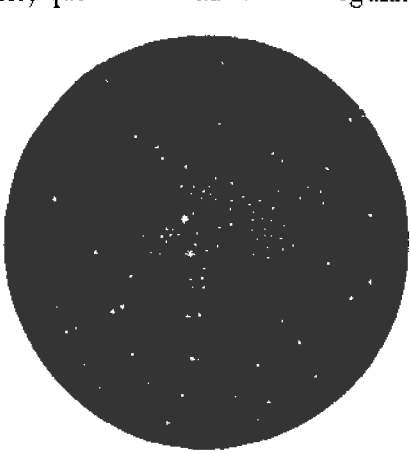


Fig. 19.—Grupo de los Perros de caza.

44. Las *nebulosas resolubles* son aquellas que con los telescopios ordinarios se ven como un disco parecido al de los planetas, pero de una luz muy débil. Mas usando telescopios de mayor alcance, pueden resolverse, en más ó menos estrellas, segun el mayor ó menor poder del instrumento, pudiéndose en este caso distinguir su forma, la cual es muy variada. Las hay *circulares*, como las que se observan en el Sagitario (fig. 20) (AR = 19^h, 34^m. Dec. = 14°, 32′) y en la Hidra (fig. 21) (cuya posicion es AR = 10^h, 17^m. Decl. = 17°, 47′). Otras son *elípticas* como la nebulosa que se halla en la constelacion del Leon (fig. 22), cuya posicion es AR = 160°, 33′. Decl. = + 13°,55′. En esta, así como en otras segun su forma circular ó elíptica, se observa ya una estrellita en cada extremidad de la elipes

ó ya en el centro. Uno de los objetos más maravillosos en este género, es la planetaria de la Lira, en forma de anillo elíptico, sombreado en las dos extremidades, (fig. 23). Su posicion es AR $= 18^h, 45^m$. Decl. $= + 32°$ 5′. Parecidas á esta hay muchas más, entre otras la de Andrómeda (AR $= 23^h, 18^m$. Decl. $= + 41°, 36'$) y la de Monoceronte (AR $= 7^h, 34^m$. Decl. $= 14°, 20'$) todas las cuales por su forma han recibido el nombre de *Anulares*.

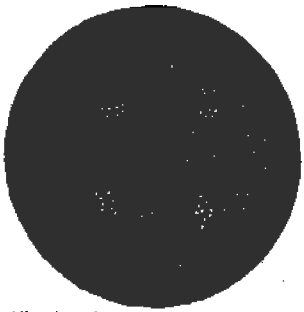


Fig. 20.—Nebulosa del Sagitario

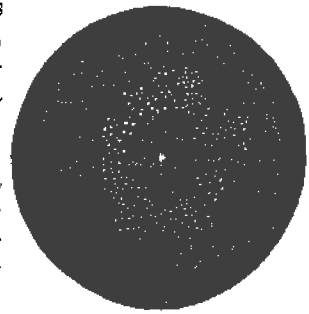
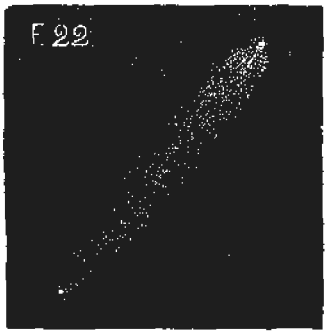
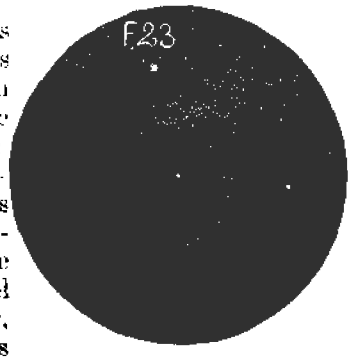


Fig. 21.—Planetaria de la Hydra.

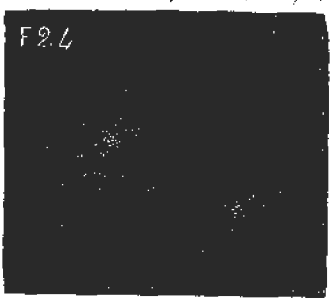


Nebulosa del Leon.

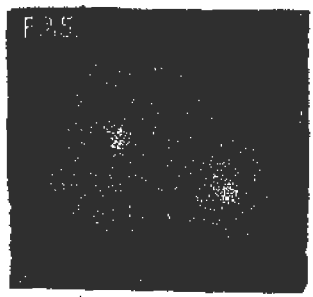
Algunas planetarias hay que son dobles, y se presentan más ó menos unidas segun la direccion de la visual del observador, como las que se hallan en la constelacion del Leon (fig. 24) [AR $= 11^h, 25^m$. Decl. $= + 38°, 29'$] y (fig. 25) (AR $= 9^h, 22^m$. Decl. $= + 22°, 15'$) A estas se añaden algunas de una forma muy singular, como la planetaria espiral en la constelacion de los Perros de caza (fig. 26).



Planetaria de la Lira.

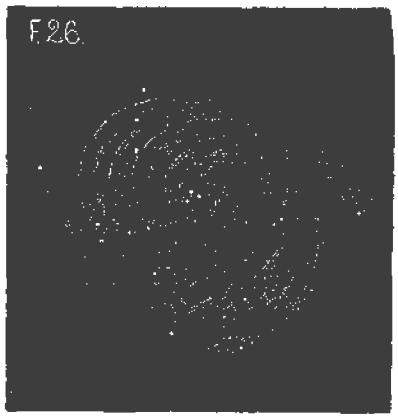


Planetaria del Leon.



Planetaria del Leon.

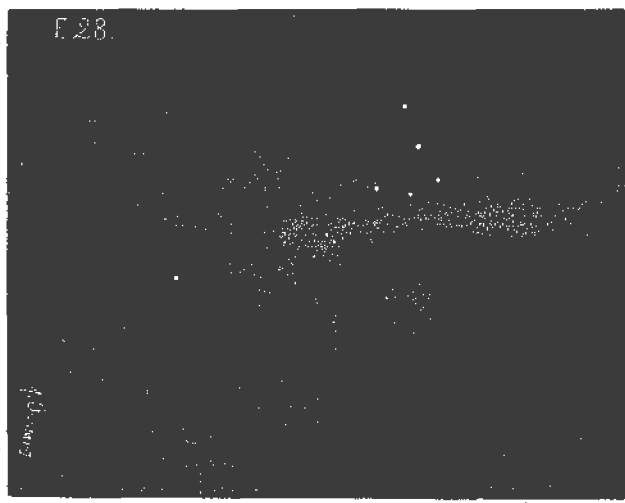
AR = 13ʰ, 24ᵐ. Decl. = 48°2′. Finalmente, entre las nebulosas se enumeran las que están formadas por una ó más estrellas acompañadas



Planetaria de los Perros de caza.

Nebulosa entre Orion y Procyon.

de una nebulosidad, que presenta á veces formas muy variadas, y se llaman *estrellas nebulosas*. Aunque algunas de estas, se resuelven en grupos, como la de la Constelacion del Águila, cuya posicion es AR = 18ʰ, 4ᵐ. Decl. = +6°50′, sin embargo la mayor parte de ellas no pueden ser resueltas por los instrumentos mas poderosos. La que se halla entre Orion y Procyon, AR = 6ʰ, 4ᵐ. Decl. = + 8°, 53′, presenta la forma de un cometa (fig. 27). Las nebulosas de que hemos hablado tienen una forma más bien regular. Pero el número de las irregulares es sin comparacion mucho mayor. Herschel que fué el primero en observar y estudiar las nebulosas, pudo examinar 2500, y su hijo Williams halló en el hemisferio austral otras tantas y más aún. La más hermosa de las irregulares en parte resoluble, es sin duda la nebulosa que se halla poco más abajo del cinto de Orion, fig. 28.



Nebulosa de Orion.

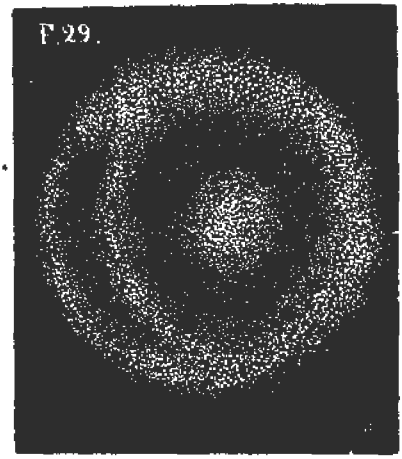
Con poderosos telescopios la parte central se resuelve en una infinidad de estrellas, además de cuatro más grandes que forman un trapecio en el centro, y su extension en tiempo favorable, y con aire tranquilo para observarla, se vé que abraza 5° de la esfera celeste. Otra nebulosa parecida á ésta, es la que se halla cerca de la estrella variable η del Navío en el hemisferio austral, y las dos del Sagitario, de las cuales una se halla en AR=18^h, 11^m. Decl. = 16°, 15′, y la otra AR=17^h, 53^m. Decl. = 24°21′.

45. *Nébulas.*—Como no todas las nebulosas segun hemos dicho, pueden resolverse, y de los estudios hechos sobre ellas se deduce no poder admitirse como posible su resolubilidad, tenemos otra clase de nebulosas que propiamente se llaman *nébulas.* Estas no son más qué una especie de materia vaporosa y difusa de una luz muy débil y cuya forma muchas veces no puede distinguirse. Entre todas las nébulas llaman principalmente la atencion las dos que se observan á la simple vista en el hemisferio austral y que se llaman Magelánicas, por haber sido Magallanes el primero que las observó cuando hizo su viaje por el estrecho que lleva su nombre. "Las magníficas zonas "del hemisferio austral, dice Alejandro de Humboldt, entre los para-"lelos 50º y 80º son las más ricas de estrellas nebulosas y de aglo-"meracion de nébulas irreducibles. De las dos nébulas de Magalla-"nes que giran al rededor del polo austral, de ese polo tan pobre "de estrellas que parece una region desierta, la más grande sobre "todo parece una reunion de grupos esféricos de estrellas más ó me-"nos grandes, y de nébulas irreducibles..... El aspecto de esas né-"bulas, la brillante constelacion de Argos, la vía láctea, espectácu-"lo tan pintoresco de todo el cielo austral, ha producido en mí una "impresion que nunca podrá borrarse de mi memoria."

46. *Vía Láctea.*—La más grande entre todas las nebulosas es la vía láctea en su mayor parte resoluble: ésta se compone de todas las especies de nebulosas de que hemos hablado, pues es una aglomeracion de grupos de nebulosas y de nébulas que forman una faja blanquizca, y abrazando los dos hemisferios constituye un gran círculo luminoso que nos rodea, formando parte de esta aglomeracion el mismo sol que nos ilumina. Si nos alejásemos de la vía láctea á la distancia de las estrellas más distantes perpendicularmente al plano que forma, todo el conjunto se nos presentaria como una mancha blanca parecida á las nébulas y rodeada por un anillo nebuloso á semejanza de las planetarias anulares de que hemos hablado más arriba. Si nuestra visual fuera dirigida paralelamente al plano de dicho círculo, no nos pareceria muy diferente de las planetarias elípticas (1).

(1) De aquí puede deducirse que la forma elíptica observada en un gran número de nebulosas, se debe principalmente á que la direccion del rayo vi-

Herschel opinaba que la aglomeracion de que nuestro sol hace parte en el interior de la vía láctea, contiene á lo menos 52.000,000 de estrellas. Para hacer ver el número incalculable de estrellas que forman la vía láctea, no será fuera de propósito referir lo que dice el P. Secchi tratando de esto en su *Cuadro físico del sistema solar* (Ilustracion publicada en Roma el año 1859). "Dirigiendo, dice, á las bellas manchas luminosas que se ven en la constelacion del Águila, del Escudo y del Sagitario un telescopio ordinario tan solo de 3 pulgadas de abertura con campo de dos grados, se ven con él más estrellas que las que se descubren en todo el cielo á la simple vista, y su número puede estimarse en 4,500, segun el Sr. Heiss. Si se coloca convenientemente un refractor de 9 pulgadas con un campo de 8 minutos solamente, el número de estrellas no disminuirá por eso, aunque el espacio se haya reducido á menos de $\frac{1}{240}$. Si se aumenta la fuerza del refractor siendo de 4 ú 6 piés, tampoco disminuirá el número, el cual permanece siempre constante, aunque disminuya en proporcion el campo." Las opiniones que ha habido desde tiempos antiguos sobre la vía láctea son varias. Dejando á un lado las erróneas, algunos astrónomos suponen que la vía láctea es un anillo hueco, como la anular de la Lira. Pero otros, con más razon, la comparan á la nebulosa 51 de Messier que tiene una forma particular. Esta se compone [fig. 29] de una grande acumulacion de estrellas que forman una nebulosa circular y brillante, rodeada de un anillo tambien nebuloso, situado á una distancia muy grande, y que se bifurca en la parte occidental. Ahora bien, la vía láctea con todo el sistema solar, presenta en su estructura y bifurcacion una grande analogía con esta nebulosa. Nuestro sol, segun Herschel, está situado casi en el centro de una primera aglomeracion esférica; las estrellas de esta aglomeracion que están más cerca del sol nos pa-



Nebulosa de Messier.

sual del observador á esa aglomeracion de estrellas que forman un sistema parcial, es paralela, ó forma un pequeño ángulo con el plano de dichos anillos ó fajas circulares, las cuales, segun se deduce de las observaciones, podemos asegurar que son círculos formados por una multitud de grupos de estrellas como nuestra vía láctea.

recen más brillantes y nos rodean por todos lados [1]. Estas serian probablemente las que constituian el firmamento de los antiguos. Todo este grupo globular se halla rodeado, á una gran distancia, por un anillo circular, formado de una multitud incalculable de sistemas de estrellas, y este anillo formaria la vía láctea. Todo el conjunto, finalmente, de la parte central con el anillo formaria nuestra nebulosa, la cual, sin embargo, no seria más que una, y quizá de las más pequeñas entre la multitud inmensa de nébulas que existen esparcidas en la esfera celeste.

§ 7.

Aspecto del cielo en varios puntos del globo.

47. La posicion de las estrellas en la esfera celeste no es la misma para todos los puntos de la superficie terrestre, sino que varia con relacion á la posicion del observador. Todas las posiciones que pueden tener los diferentes puntos del globo con respecto á la posicion de las estrellas, se reducen á tres: 1º Si suponemos á un observador en un punto cualquiera del círculo ecuatorial, la línea de los polos coincidirá con el plano del horizonte, y de consiguiente los dos polos descansarán sobre el mismo plano. Todas las estrellas pertenecientes á los dos hemisferios serán visibles, pues todas se elevan sobre el horizonte y se ponen debajo de él, describiendo sus círculos paralelos perpendicularmente al horizonte; y mientras las unas son visibles por espacio de 12 horas, las otras son invisibles por un espacio igual de tiempo. Además, todas las estrellas que tengan una declinacion = 0°, incluso el mismo sol, pasarán por el zenit del observador en su movimiento diurno. La posicion de la esfera celeste [fig. 30] con respecto á un observador que se halla en el ecuador, se llama posicion *recta* del globo, pues el plano ecuatorial forma ángulos rectos con el plano del horizonte. 2º Si nos trasladamos á uno de los polos se verificarán fenómenos muy diferentes: el eje del mundo quedará perpendicular al horizonte: la estrella polar ó el polo mismo estará siempre fijo en nuestro zenit. El ecuador coincidirá con el

(1) "Es una observacion que se ha hecho desde hace tiempo, dice el P. "Secchi (loc. cit.), que casi todas las estrellas de 1ª y 2ª magnitud se hallan "en una zona poco distante de la vía láctea, y forman casi un círculo máximo "que pasa por el Toro, Orion y el escorpion, teniendo por uno de los polos "en el hemisferio austral á la hermosa estrella Fomalhaut. Esta misma zona pasa por la constelacion de Hércules, muy poco distante del lugar hácia "el cual se dirige nuestro Sol."

plano horizontal, y todas las estrellas describirán sus respectivos círculos paralelamente al horizonte; de todas las estrellas que se ven, ninguna se pone debajo del horizonte ni se levanta, pero no serán visibles sino las que pertenecen al hemisferio en que se halla el observador. Todas las demás del hemisferio opuesto serán perpetuamente *invisibles*. El mismo sol no podrá ser visible sino cuando se halle en el ecuador ó sobre él, en cuyo caso el observador le verá dar vuelta á su derredor paralelamente al horizonte, quedando del todo invisible por el tiempo en que se halle en el hemisferio opuesto. Esta posicion del globo con relacion á las estrellas, se llama *paralela*, pues coincidiendo el ecuador con el horizonte todos los demás círculos menores son tambien paralelos al plano horizontal [fig. 31].

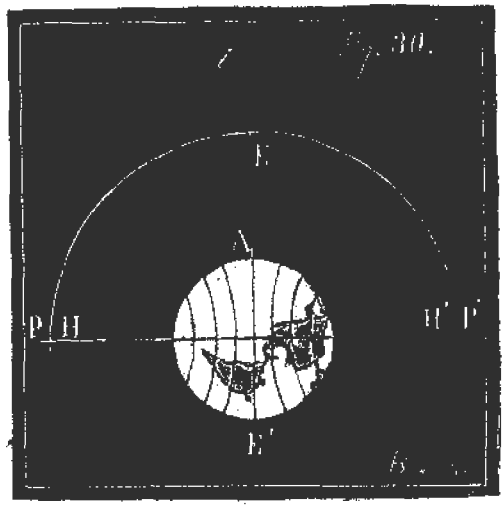


Fig. 30.

3º En un lugar intermedio la posicion del globo se llama *oblícua*: en este caso el plano ecuatorial formará con el horizonte del observador un ángulo más ó menos obtuso, segun sea mayor ó menor la distancia del zenit del observador al polo (fig. 32). El número de estrellas visibles aumentará, en razon directa del alejamiento

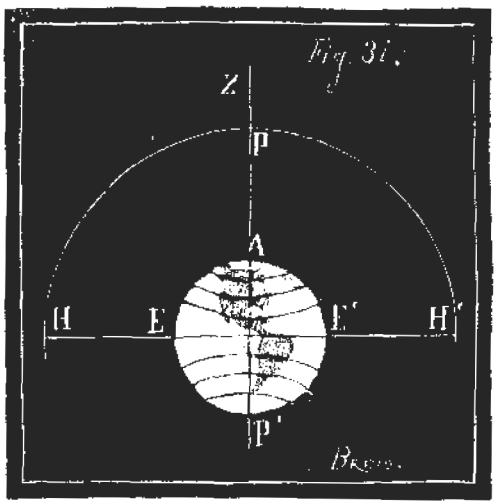
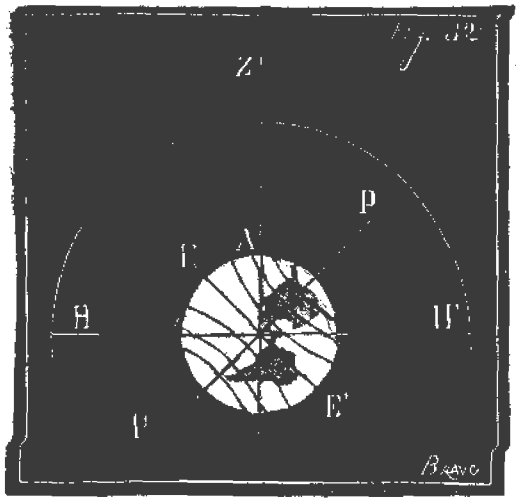


Fig. 31.

del observador al polo, pues quedando oblicuos al horizonte los círculos paralelos, las estrellas pertenecientes al hemisferio opuesto irán elevándose sobre el horizonte, á medida que el observador vá acercándose al círculo ecuatorial, así como las más cercanas al ecuador empezarán á ponerse debajo del horizonte mientras describen su círculo diurno. En otros términos, el eje á cuyo derredor se cumple el movimiento diurno, se mueve inclinándose sobre el horizonte segun que el observador se acerca al ecuador, y mientras uno de los polos vá bajando insensiblemente, el otro vá elevándose, y las constelaciones circumpolares se hacen más y más visibles, primero por corto tiempo y despues por un tiempo más largo, como hemos dicho. Llegando á los 67° quedan invisibles todas las estrllas del círculo polar del hemisferio opuesto al del observador, mientras que las que se hallan en el círculo ecuatorial son siempre visibles en cualquier punto de la superficie terrestre. La exposicion que hemos hecho de estos fenómenos se funda no solo en la teoría, sino tambien en las observaciones y la relacion de los viajeros; y es una consecuenci legítima de la redondez de la tierra y de su rotacion al rededor de un eje fijo, como lo vamos á *demostrar en el libro siguiente.*



LIBRO II.

DE LA TIERRA.

CAPITULO I.

§ 1.

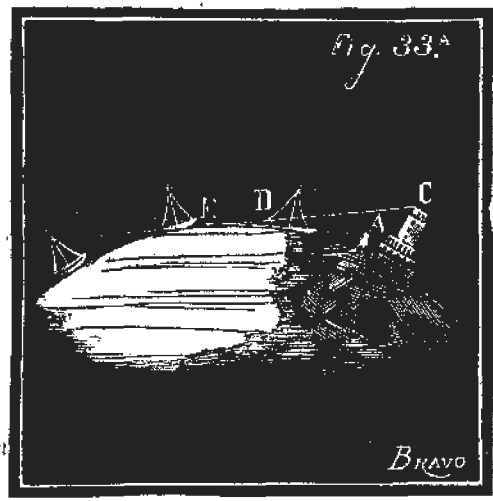
Posicion de la Tierra en el espacio.—Su forma.

48. Hemos visto que las estrellas circumpolares describen aparentemente círculos perfectos al rededor del polo, y que las más lejanas del polo salen sobre el horizonte al E. y se ponen debajo de él al O. para volver á aparecer despues de un tiempo fijo al Oriente. Ahora bien, es muy natural el pensar que estas estrellas tambien describen, como las circumpolares, círculos perfectos y paralelos al rededor del polo, continuando su movimiento debajo del horizonte. Esto, sin embargo, no podria tener lugar si la tierra no fuese limitada, y si tuviera que descansar sobre algun fundamento. Por lo tanto, es necesario mirar á la tierra como un cuerpo aislado en el espacio y rodeado por todas partes de las estrellas. De aquí es fácil reconocer su forma sensiblemente esférica. En un país cualquiera despejado de montañas, y sobre todo en alta mar, la línea que limita la vista, ó sea la línea del horizonte, es siempre un círculo cuyo centro ocupa el observador. Cuanto más se eleva uno sobre la superficie, más se agranda este círculo. Puesto que se verifica dicho fenómeno en todos los puntos de la tierra, y sabiéndose por la geometría que la esfera es el único cuerpo que puede verse bajo una forma circular por cualquier punto que se le mire, se deduce que la tierra es sensiblemente esférica. Otra razon más nos convencerá de la redondez de la tierra.

49. Supongamos un buque (fig. 33) que sale del puerto; á medida que vá alejándose, se le verá disminuir progresivamente; muy luégo parecerá que toca con su quilla la línea del horizonte, poco á poco se perderá de vista el casco, despues las velas, y al fin desaparecerá del todo, pues la visual del observador es solo tangente en un punto de vista fijo D, de la superficie que representa el límite de la vista, ó el horizonte sensible. Pero si el observador desde el punto A sube á la altura de una torre C, la visual será tangente en otro punto E más lejano que el primero, y de consiguiente, por la depresion del horizonte, aumentará el círculo límite de la vista, y vol-

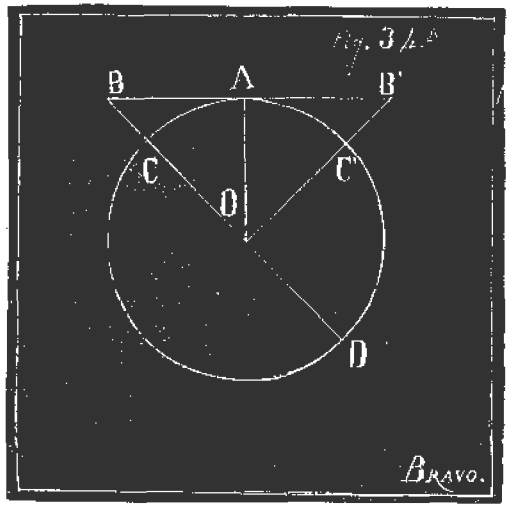
verá á verse enteramente el buque, el cual en corto tiempo desaparecerá como antes: fenómeno imposible si la tierra no fuera esférica.

50. Esta forma convexa de la tierra no es alterada sensiblemente por las montañas, pues la altura de las montañas más elevadas con relacion al diámetro terrestre (1) podria ser representada por la relacion de un granito de arena de un cuarto de milímetro sobre un globo de cuatro decímetros de diámetro.



51. La prueba más irrefragable de la redondez de la tierra son los viajes al rededor del globo. Cualquiera que haya emprendido largos viajes, puede

(1) Podemos hallar fácilmente la longitud del diámetro terrestre, por el método siguiente: sabemos por experiencia que poniendo dos piquetas que tengan una altura de metro y medio sobre el suelo á la distancia de dos leguas una de otra se pierden de vista, pues la visual que une los puntos extremos BB', es tangente á la superficie en el punto A (fig. 34). Enseña la geometría que la tangente de un punto es media proporcional entre la secante entera y la parte exterior de la misma secante. Supuesto esto, sean las dos piquetas BC, B'C' situadas á la distancia de dos leguas, y cuya altura sea igual á un metro y medio, tendrémos la siguiente proporcion: $\frac{BD}{BA} = \frac{BA}{BC}$. La relacion



dar fé de ello. Cook, D'Urville, Franklin, Colon, Magallanes, que han descubierto nuevas tierras y nuevos mares en la superficie del globo, en cualquier punto en que se hallaban, se veian siempre como en el centro de un círculo cuya circunferencia era el límite del horizonte, mientras tanto iba variando sobre su cabeza la posicion de las constelaciones en la esfera celeste. El último especialmente, que intentó el viaje entero al rededor del globo, salió de España el 20 de Setiembre de 1519, se dirigió al Oeste, pero impedido para seguir su viaje en dicha direccion por el contiuente Americano, bajó al Sur hasta que encontró paso por el estrecho que lleva su nombre, y entró en el Pacífico; pero llegando á la isla de Zebú, fué muerto por los indígenas. Su lugarteniente Sebastian del Cano, continuó el viaje al Oeste, pasando al S. de la India, y doblando el Cabo de Buena Esperanza, llegó al puerto de Sanlúcar de Barrameda en la provincia de Cádiz, de donde habia salido tres años antes el 6 de Setiembre de 1522.

52. Estos hechos dan un argumento irrefragable de la redondez de la tierra y de su aislamiento en el espacio, por lo cual se la puede considerar como un globo situado en el centro de la esfera estrellada.

En vista de esto, podemos suponer que los centros de estas dos esferas coinciden; en este caso todos los círculos máximos y menores de que hemos hablado tratando de las estrellas, podrán imaginarse proyectados sobre el globo terrestre. Así los dos polos celestes determinarán los polos de la tierra, el eje de la tierra coincidirá con el eje del mundo, y el plano del ecuador terrestre será determinado por la direccion del ecuador celeste. Perpendicularmente á este ecuador podrán imaginarse tantos meridianos cuantos círculos horarios hemos imaginado para las diferentes estrellas, y los círculos paralelos corresponderán á los paralelos de la esfera celeste. Suele, sin embargo, dividirse el globo terrestre más generalmente en cinco zonas: la ecuatorial que abraza una extension de 23°, 27′ por uno y otro lado del Ecuador, determinada por los círculos tropicales; las templadas entre los trópicos y los círculos polares que se hallan á los 67°; finalmente las dos glaciales en cuyo centro se encuentran

---

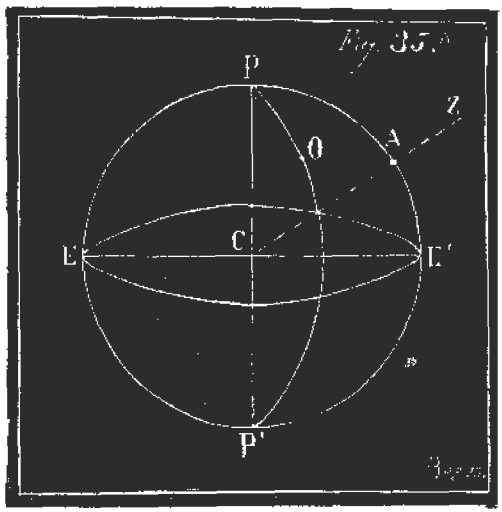
pues entre BD y BA es la misma que entre BA y BC. Ahora bien, si dividimos BA por BC, hallarémos que una legua (ó sea 4,444^m) es casi igual á 2962 veces BC, siendo $\frac{4,444}{1,5} = 2962$; por consiguiente toda la longitud BD será tambien igual á 2962 veces BA. Mas siendo BA = 1 legua = 4,444^m, será BD = 2962 leguas, ó sea = 2962 × 4,444^m. De aquí resulta CD = BD — — BC = 2962 + 4,444^M 1^{M}5 = 13.163,128^M. Este es, pues, aproximadamente el valor del diámetro terrestre. He dicho aproximadamente, pues siendo el cálculo anterior deducido de la depresion del horizonte, no es susceptible de grande exactitud; á más de que se supone en dicho cálculo que la tierra es perfectamente esférica, lo que probaremos despues no ser cierto (§ 5).

los polos. Los círculos meridianos se llaman tambien *círculos de longitud*, y los paralelos que determinan las diferentes distancias en grados del ecuador á los polos, se llaman *círculos de latitud*. Llámanse *coluros* dos círculos máximos que, pasando por los polos, determinan los meridianos de los dos puntos equinocciales, y otros dos puntos diametralmente opuestos situados á 90° de los equinoccios que se llaman *coluros de los solsticios*, así como los primeros se llaman *coluros de los equinoccios*.

§ 2.

Coordenadas geográficas.

53. Las coordenadas geográficas son un sistema de dos ángulos, por los cuales se determina la posicion de un punto cualquiera de la superficie terrestre, á semejanza de las coordenadas celestes. Estos dos ángulos son la *latitud* y la *longitud;* el primero correspondería á la declinacion de una estrella, el segundo al ángulo horario ó á la ascencion recta. Si se concibe el centro de la esfera celeste coincidiendo con el centro de la tierra, segun hemos dicho antes, y el eje del mundo con el eje de la tierra, el plano del ecuador cortará al globo en un círculo máximo que es el *ecuador* terrestre; y el plano de un meridiano cualquiera, supuesta la tierra perfectamente esférica, la cortará en otro círculo máximo que es el *meridiano* terrestre. Con estos dos círculos tendrémos las dichas coordenadas. Llámase *latitud* el ángulo formado por la vertical de un punto cualquiera A (fig. 35) con el plano ecuatorial, ó sea la distancia del punto A al ecuador, contada sobre el meridiano desde el ecuador al polo, ó sea de 0° á 90°. La *longitud* es el ángulo diedro PEP'P que el meridiano de un punto determinado A forma con el meridiano de otro lugar O, ó sea POP', el cual se toma como orígen de la graduacion, y es arbitrario, ó de otro modo: la longitud es la distancia del meridiano de un lugar, al meridia-



no que se toma por orígen. Segun esto, el arco del ecuador interceptado por dos meridianos, dará la diferencia de longitud entre los dos puntos extremos. Ordinariamente se toma por primer meridiano el que pasa por París [el punto exacto es el Observatorio]; los ingleses y norte-americanos tienen por primero el que pasa por el observatorio de Greenwich; otras veces lo ha sido el que recae sobre la isla de "Hierro". De todos modos cualquiera que sea el primer meridiano, la *longitud* toma las denominaciones de *oriental* y *occidental*, segun que el lugar de que se trata se halla al E. ó al O. del primer meridiano, y se cuenta de 0° á 180° por uno y otro lado: así como la latitud toma las denominaciones de *boreal* y *austral* segun que el lugar en cuestion se halla en el hemisferio boreal ó austral; por abreviacion suele ponerse el signo + para indicar la latitud boreal, y el signo — para la austral. Tratándose de los diferentes meridianos que se toman arbitrariamente como primeros, fácilmente se encuentra la longitud de un lugar con relacion al uno ú al otro. Así v. gr. la longitud de un lugar que cuenta por primer meridiano el de Greenwich se reduce á la de París, añadiendo ó restando la diferencia de longitud entre los dos lugares, que es 2°, 20′, 09″ segun que el punto de que se trata se halla al O. ó al E., advirtiendo que Greenwich está al O. de París. En las fórmulas se suele denotar la longitud con la letra L, y la latitud con la letra λ. Así tendrémos:

Constantinopla	L =	26°, 38′, 50″ E.
New York	L =	73°, 35′, 32″ O.
París	λ = +	48°, 50′, 11″ N.
México	λ = +	19°, 28′, 20″ N.
Santiago de Chile	λ = —	33°, 26′, 28″ S.

§ 3.

Medidas de las coordenadas geográficas.

54. Siendo la longitud el arco del ecuador interceptado por dos meridianos extremos, puede medirse por la diferencia de horas en un mismo instante de tiempo absoluto, del mismo modo que la ascension recta se reduce á ángulo horario y viceversa. Así v. gr. verificándose el principio de un eclipse de Luna para el hemisferio en que pueda observarse al mismo tiempo, este podrá ser notado por dos observadores en horas diferentes en dos lugares distan-

tes entre sí por la diferencia de meridiano. La diferencia de tiempo entre las dos observaciones simultáneas reducidas á grados, dará la diferencia de longitud. Si el eclipse se verifica en París á la 1^h, 32^m, 40^s de la mañana, y en Washington á las 8^h, 15^m, 08^s de la noche, la diferencia de 5^h, 17^m, 34^s multiplicada por 15, dará la longitud en grados = 79°, 23′, 00″. Este método, sin embargo, tan en uso entre los antiguos, ya no se emplea como lo veremos despues, por no ser exacto.

55. Actualmente en los continentes se hace uso del telégrafo para conocer la diferencia de longitud; siendo la señal dada por el telégrafo sensiblemente simultánea en los dos lugares, las diversas horas indicadas por los cronómetros bien arreglados por el paso del sol por el meridiano en cada una de las estaciones, darán la diferencia de tiempo, la que reducida á grados, dará la diferencia en longitud.

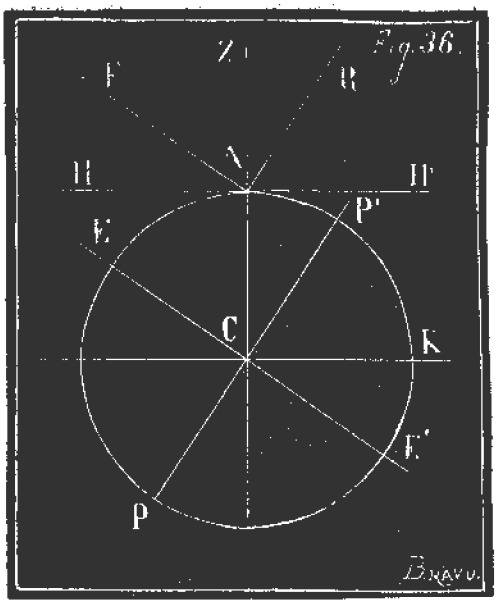
56. Los marinos usan otro método: llevan consigo uno ó más cronómetros arreglados sobre el meridiano principal, que ordinariamente es el de París, ó el de Greenwich. Estos dan á cada instante la hora del primer meridiano; de consiguiente, determinando la hora del lugar en que se hallan por la observacion de la altura del sol, la diferencia de dicha hora con la que marca el cronómetro les dá la diferencia de longitud. La diferencia de horas en dos lugares determinados, depende del atraso ó adelanto del paso del sol por el meridiano. Dijimos que Sebastian del Cano, volviendo á Europa despues de su viaje al rededor del globo, llegó el 6 de Setiembre al puerto de Sanlúcar, sin embargo el libro de cuentas de á bordo, marcaba el 5 del mismo mes: se hallaban, pues, con un dia de atraso. Fácilmente puede darse razon de este fenómeno, si se considera que cuando salieron la primera vez, marchando hácia el O, el curso del navío se adelantaba cada dia al curso del sol, de modo que el dia para los que viajaban era mas largo que para los que quedaban en tierra: todos estos excesos de cada dia correspondientes á los 360° recorridos en toda la vuelta, suman 24 horas exactas, y por lo tanto dan un dia de atraso. Para un lugar que tuviera 180° de longitud occidental habria un retraso de 12 horas; el sol para ese lugar se levanta en el mismo instante en que se pone con respecto al lugar del primer meridiano. Tratándose de longitudes orientales se verificaria lo contrario, pues habria un adelanto en el cómputo de los dias. Si se hiciera el viaje al rededor del mundo dirigiéndose al E, resultaria un dia de más, pues en este caso los dias serian más cortos que en el lugar de donde se salió.

57. Hay tambien otro método que se llama de *señales*, y sirve para cortas distancias. Desde la altura de una montaña diríjase la vis-

ta á un punto dado: hágase una señal convenida como la de encender una pequeña cantidad de pólvora etc: anótese la hora de los dos lugares en que se verificó y percibió la señal; la diferencia de horas convertidas á grados, dará la diferencia en longitud.

58. Los astrónomos se sirven, especialmente en la actualidad de la observacion de los eclipses de los satélites de Júpiter para averiguar las longitudes, pero de estos hablaremos más tarde.

59. Para hallar la *latitud* de un lugar, basta averiguar la altura del polo sobre el horizonte, pues los dos ángulos son iguales por ser complementos de la distancia zenital del polo. En efecto, sea PP' (fig. 36) el eje de la tierra, EE' el ecuador, PAP' el meridiano, A un lugar cualquiera. La latitud del punto A será el ángulo ACE =ZAF por ser ángulos correspondientes; y el ángulo P'CK=RAH' por la misma razon. Estando el polo celeste á una distancia infinita, las dos rectas AR y CP' y sus perpendiculares FA y EC irán respectivamente á dirigirse al mismo punto del cielo, de manera que el punto A podemos considerarlo trasladado al punto C. Supuesto esto, resultan las siguientes ecuaciones:



ACE=90°—ACP'
P'CK=90°—ACP'

Siendo iguales los segundos miembros, será tambien ACE=P'CK; pero por lo dicho ACE=ZAF, P'CK=RAH', luego ZAF'=RAH', es decir, que la la latitud del punto A, representada por la distancia zenital del ecuador ZAF, es igual á la altura del polo sobre el horizonte, representada por el ángulo RAH'.

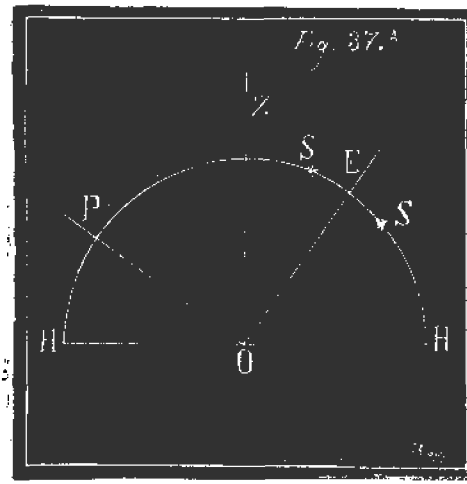
60. Podemos hallar la latitud de un lugar por otro método, á saber: por la distancia zenital del sol ó de una estrella cualquiera, cuando se conoce su declinacion. En efecto, la distancia zenital de

la estrella S (fig. 37) es siempre igual á la latitud más ó menos la declinacion: pues tenemos

$$ZS = ZE - ES$$
$$\text{y } ZS' = ZE + ES'$$

de donde

$$ZE = ZS + ES$$
$$\text{y } ZE = ZS' - ES'.$$



Llamando λ la latitud, Z la distancia zenital del astro y D la declinacion, será en general $\lambda = Z \pm D$: la cual fórmula vale aun cuando D tenga un valor negativo, pues en este caso tendrémos $-Z = \lambda \pm (-D) = \lambda \mp D$, de donde $\lambda = Z \pm D$.

§ 4.

Medida de un arco de meridiano.

61. La distancia entre dos puntos lejanos sobre la superficie del globo segun lo dicho, podrá ser representada por un arco, cuyas extremidades son determinadas por las verticales de los dos puntos. Si dichas verticales prolongadas interceptan en la esfera celeste un arco de un grado, y en el interior de la tierra forman un ángulo de un grado en su punto de encuentro, interceptarán tambien un arco de un grado sobre la superficie terrestre. Si la tierra fuese perfectamente esférica, una vez hallada la longitud ó la dimension de este arco, seria esta la unidad de medida de la cual podria deducirse la extension de la circunferencia entera. Pero, aunque esto pueda hacerse con exactitud respecto al ecuador y á los círculos paralelos, no deja de ser bastante inexacto con respecto á los meridianos sobre los cuales se miden los arcos de latitud. El ecuador y los paralelos son círculos perfectos y aunque estos vayan siendo siempre más pequeños segun que se acercan á los polos, sin embargo, averiguada la longitud de un arco de un grado en cada uno de ellos, bien podrá ser esta la medida para todo el círculo correspondiente. En cuanto á los meridianos, las operaciones geodésicas que se han hecho han dado á

conocer que no son círculos perfectos, y que la extension lineal de un arco de un grado cerca de los polos, es bien diferente de la que corresponde al arco de un grado cerca del Ecuador. Dichas operaciones se han hecho en el Perú, en la India, en la Laponia, en Francia, y especialmente en Pensilvania en los Estados Unidos á fines del siglo pasado [1768], en donde se pudo trazar un arco de meridiano y medir su longitud por medio de reglas en una llanura muy extensa y cerca del mar. Este método seria muy sencillo si no tuviese que tropezar con la dificultad de las desigualdades del suelo; por esto, en otros lugares se ha usado más bien el método de triangulacion, el cual consiste en medir los diferentes ángulos que forman las alturas con los llanos, y por medio del cálculo se ha deducido la longitud del arco. Los resultados á que se ha llegado en algunas medidas son los siguientes:

Estaciones.	Latitud.	Arco medido.	Longitud en metros	Observadores.
Laponia.	66°, 20′, 10″	1°, 37′, 19″	111. 488	Swamberg.
Francia.	46°, 52′, 02″	8°, 20′, 00″	111. 211	Lacaille.
Pensilvania.	39°, 12′, 00″	1°, 28′, 45″	110. 880	Dixon.
India.	16°, 08′, 32″	15°, 57′, 40″	110. 653	Lambton.
Perú.	1°, 31′, 00″	3°, 07′, 03″	110. 583	Lacondamine.

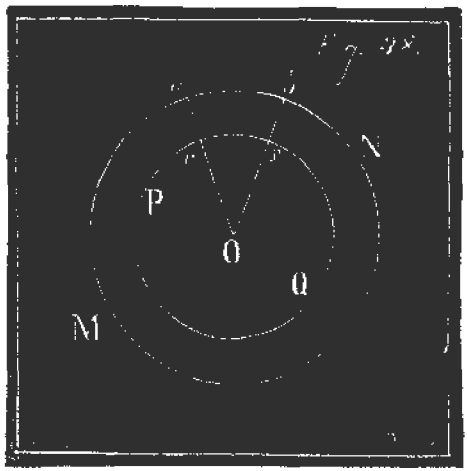
De dichas medidas resulta que los arcos de un grado en el Ecuador, tienen una longitud en metros menor que los arcos de un grado cerca de los polos.

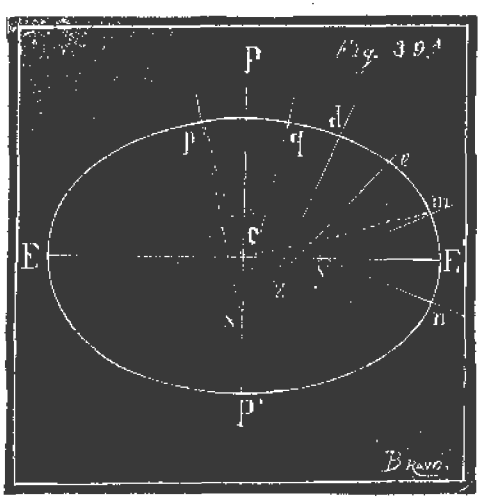
§ 5.

Forma de la tierra.

62. Supuesto que bajo un mismo meridiano, los arcos que miden un grado en la esfera celeste, no tienen la misma longitud sobre el globo, sino que abrazan cierto número de metros menor en el Ecuador que en los polos, debemos admitir que la forma de la tierra, no solo no es esférica en el sentido de los meridianos, sino que es algo aplanada por los polos y elevada en el ecuador, y por tanto los radios terrestres no son iguales entre sí. Propongámonos demostrarlo. Es necesario advertir que, segun enseña la geometría, los arcos de diferentes círculos medidos por el mismo ángulo en el centro son proporcionales á sus radios. Sean dos círculos concéntricos MN y PQ

[fig. 38]: fórmese al centro O un ángulo de un grado; los arcos correspondientes *ab*, *rs*, iguales á un grado, serán proporcionales á los radios *ao*, *ro*; es decir, que siendo *ao* > *ro*, será tambien *ab* > *rs*. Supuesto esto, por lo dicho anteriormente sabemos que el arco *mn* [fig. 39] del Ecuador correspondiente á un grado en la esfera celeste, es más pequeño que el arco *pq* medido en el polo, y que corresponde tambien á un grado en el cielo [la curva *pq m n p*, representa la seccion de la tierra segun un meridiano cualquiera]: por lo tanto, si suponemos que el arco *mn* es igual al arco *rs* [fig. 38] del círculo PQ, y *pq* = *ab* del círculo MN, hallaremos que los radios correspondientes deben tambien ser iguales á los arcos respectivos; además, como los arcos *mn* y *pq* corresponden á un arco de un grado en la esfera celeste, deben tambien interceptar en el interior del globo un ángulo de un grado. Pero para que esto se verifique es necesario que los radios *xp*, *xq* correspondientes al arco *pq* sean iguales á los radios *oa*, *ob* correspondientes al arco *ab* (= *pq*) del círculo MN, y que los radios *ym*, *yn* á su vez sean iguales á los radios *or*, *os*. Los arcos, pues, en cuestion deben considerarse como arcos de diferentes círculos descritos desde varios pun-





tos en el interior del globo, y que sin embargo midan un ángulo del valor de un grado. Siendo esto así, las intersecciones de las verticales de los puntos *m*, *n*, *p* y *q* no se verificarán como en la esfera, en un punto central, sino en *x*, verbi gratia, más allá del centro para un arco de un grado en el polo, y en *y* fuera del centro, antes de llegar á él, para un arco de un grado en el ecuador. Para otro arco cualquiera la interseccion de las verticales caeria en *z*. Si se unen todos estos centros, que se llaman *centro de curvatura*, resultará una figura cerrada por las cuatro líneas imaginarias, como se vé en la figura 39, los radios *xp*, *ym*, *zd* se llaman radios de curvatura. Si ahora comparamos la distancia de la superficie terrestre al centro de la figura, que es lo que se llama radio terrestre, claro aparece que la distancia *m* C es mayor que *p* C, luego el radio ecuatorial es mayor que el radio polar; esta diferencia de radios dá á la tierra una forma de elipsóide.

Habiéndose calculado la longitud de los radios terrestres, se han obtenido los resultados siguientes:

		tt.		leg. de 25 p. grado.
Diámetro ecuatorial	=	12.754,863	=	2870.1
Diámetro polar	=	12.712.251	=	2860.5
Aplanamiento	=	42,612	=	9.6
Diámetro medio á 45°	=	12.733,557	=	2865.3

La relacion de los diámetros es sensiblemente $= \frac{298}{299}$; de suerte que su diferencia es $\frac{1}{299}$ más grande, es decir, poco más de $\frac{1}{300}$. Es muy probable que el error del cálculo en averiguar el valor de estos diámetros no pase de 8,000 metros, y que el aplanamiento real de la tierra no esté equivocado en 0,1 de su valor.

§ 6.

Longitud del metro.

63. La medida de un arco de meridiano dió lugar á fines del siglo pasado (1790), á una reforma muy importante. Para evitar la confusion de pesos y medidas que existía en el comercio en Francia, quiso la Asamblea Nacional de Paris sustituir un sistema que fuera la base de las medidas y que tuviera relacion con la magnitud de la tierra. Al efecto, nombró una comision compuesta de varios astrónomos, especialmente de los Señores Delambre y Mechain, encargándoles midiesen el arco de meridiano entre Dunkerque y Barcelona, que abraza casi 10 grados. Por el método de triangulacion hallaron que la longitud de un cuarto de meridiano era = 5.130,740 toesas.

Dividiendo toda esta longitud en 10,000000 de partes, se tomó la diez millonésima parte del meridiano terrestre por la nueva unidad de longitud, á la cual dieron el nombre de metro (del griego μετρον, que significa *medida*). Así pues, siendo 5,130,740 toesas=10,000000 de metros, la longitud de un metro será = 0.513,074 toesas, ó sea = 3 piés, 11 líneas, 296 milésimas = 443 líneas, 296 milésimas.

64. Habiéndose posteriormente discutido y comparado las medidas antiguas con las modernas, se ha reconocido que el aplanamiento adoptado para llegar á la determinacion de la longitud del metro era excaso. El conjunto de estas medidas hace ver que el aplanamiento se acerca más á la fraccion $\frac{1}{299}$ que á $\frac{1}{300}$. Esta modificacion lleva consigo la correspondiente en la longitud del cuarto de la elipse meridiana, la cual en lugar de ser =10,000000 de metros, es un poco más grande, á saber: 10,000,856 metros. Puede formarse una idea del aplanamiento de la tierra, imaginando un globo que represente exactamente su forma. Si el diámetro ecuatorial de este globo tuviera un metro de longitud, el diámetro polar debería diferir de $\frac{1}{299}$, es decir, un poco más de 0^m, 003, no habria más que milímetro y medio de diferencia. Por estos resultados el valor medio del arco de un grado en la superficie terrestre es =111,120^m; el arco de 1′ = 1852^m, y el de 1″ = 30^m, 9.

§ 7.

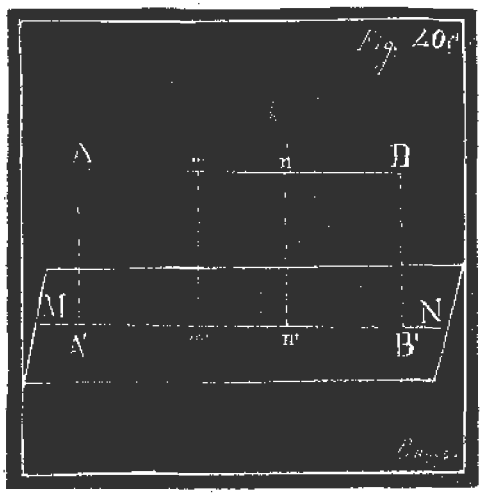
Nociones sobre las cartas geográficas.

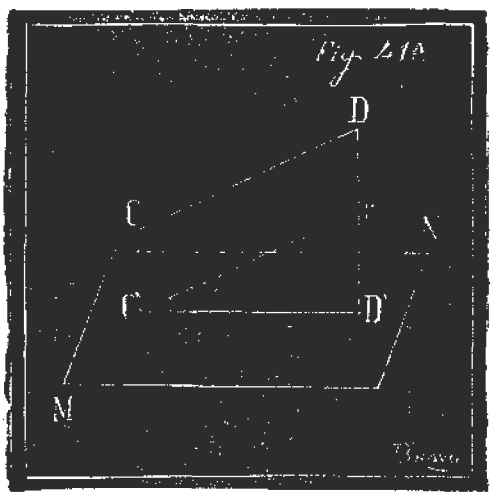
65. Tratando de las coordenadas geográficas, hemos visto anteriormente cómo puede determinarse por medio de estas, la posicion de un punto cualquiera de la superficie terrestre. Trátase ahora de representar esta superficie por medio de líneas trazadas sobre un plano, de modo que se conserven las distancias relativas de los varios puntos del globo segun el valor de las coordenadas. Es este un problema de geometría descriptiva que se resuelve por los métodos ordinarios de proyeccion, ó de desenvolvimiento.

66. Se dividen las cartas geográficas en dos clases: unas se llaman Mapamundis, en donde los dos hemisferios se representan por entero, y otras se llaman particulares, que están destinadas á representar alguna parte de la tierra. Cualquiera de estas dos especies de cartas representan á toda la superficie terrestre, ó parte de ella, por proyeccion sobre un plano. Pero antes daremos una breve noticia sobre las proyecciones.

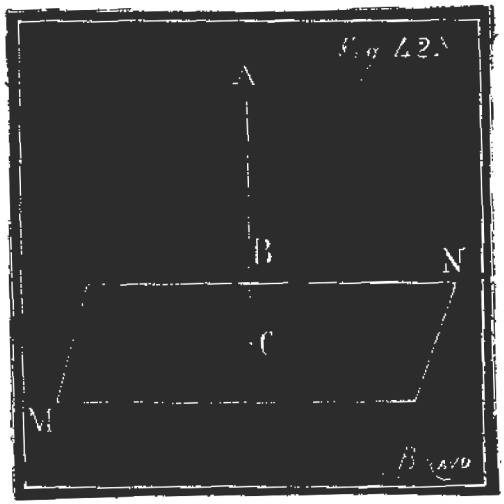
67. Llámase *proyeccion* la representacion de una figura cualquiera sobre un plano, ejecutada por el trazo de las líneas que pueden dirigirse de cada uno de los puntos de la figura al plano mismo. Si

estas líneas son paralelas y forman ángulo recto con el plano, la proyeccion se llama *ortogonal;* en este caso la proyeccion del punto de la figura viene á ser el pié de la perpendicular. Si las líneas concurren de toda la superficie de la figura en un punto solo, la proyeccion será *central.* Si las líneas siendo paralelas, no son sin embargo perpendiculares al plano, la proyeccion será *oblícua.* Sea una línea recta AB, (fig. 40), trazando de los puntos A, *m*, *n*....B las perpendiculares AA', *m m'*, *n n'*.....BB' al plano MN, la línea A' B' será la proyeccion de la línea AB. Como esta línea es paralela al plano, todos sus puntos serán representados con las mismas distancias respectivas y la proyeccion A'B' será igual y de la misma longitud que A B. Pero si la línea fuera oblícua al plano, como la C D (fig. 41), su proyeccion seria tanto más pequeña cuanto mayor fuera el ángulo que podria formar con el plano, pues el cateto C'D' siempre es menor que la hipotenusa C'*r*, paralela ó igual á CD. Finalmente, si el ángulo de la línea con el plano fuera 90°, la proyeccion no seria más que un punto, como se vé en la fig. 42. De aquí nace que un cuadrado ó un círculo paralelo á un plano, tendrán por proyeccion un cuadrado y un círculo igual; pero si fueran perpendiculares al plano,

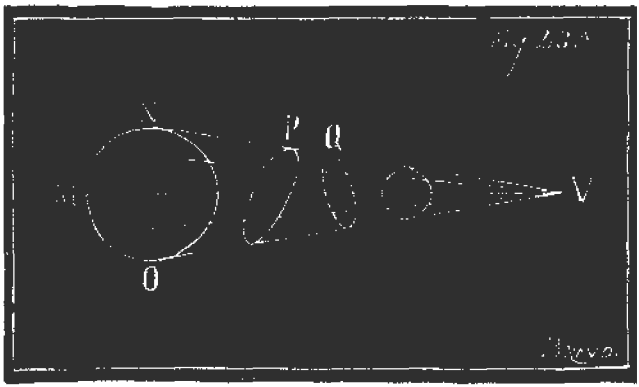




su proyeccion seria solo una línea recta. Si formaran un ángulo cualquiera, la proyeccion del cuadrado seria solo un paralelógramo, la del círculo una elipse, más ó menos abierta, segun que el ángulo que forma con el mismo plano fuera menor ó mayor.



68. Hay otra especie de proyeccion que se llama *central*, á saber: cuando las líneas que se trazan de todos los puntos de la figura concurren en un punto, que se llama *centro;* en este caso el plano de proyeccion es siempre una seccion de la pirámide, cono, ó cualquiera otro sólido geométrico que forman las líneas trazadas de cada uno de los puntos de la superficie que quiera representarse. Trátase de proyectar un círculo MNO (fig. 43): sea V el centro, las proyecciones oblícuas al eje P y Q serán elipses, la paralela al círculo será tambien un círculo, con la diferencia, que cuanto más lejos del centro se considere la

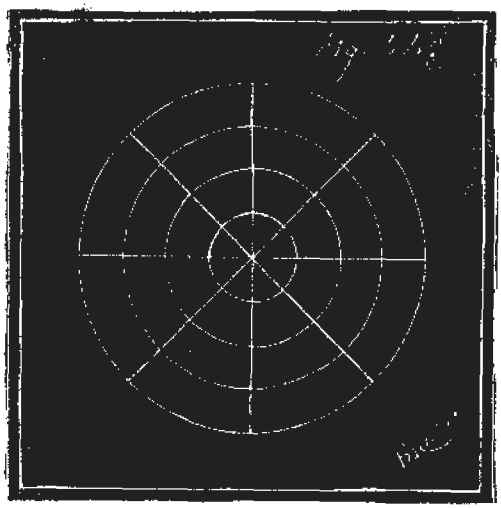


seccion, tanto mayor será la escala en que se representa la figura, y será tanto más pequeña cuanto más se acerca al centro V. Esta especie de proyeccion es muy usada, no solo para representar la partes

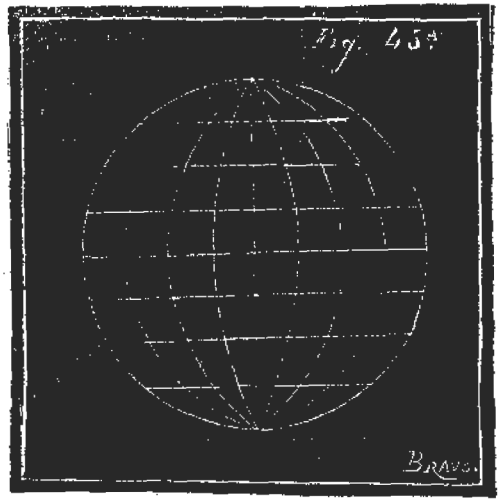
del globo terrestre, sino especialmente para construir los cuadrantes solares, de donde ha tomado el nombre de proyeccion gnomónica, de la cual hablaremos tratando del Sol en el capítulo segundo.

69. Dadas estas nociones principales, veamos como pueden construirse las cartas geográficas por medio de las proyecciones. De estas hay tres especies: *Ortográfica, Estereográfica,* y *Homológráfica.*

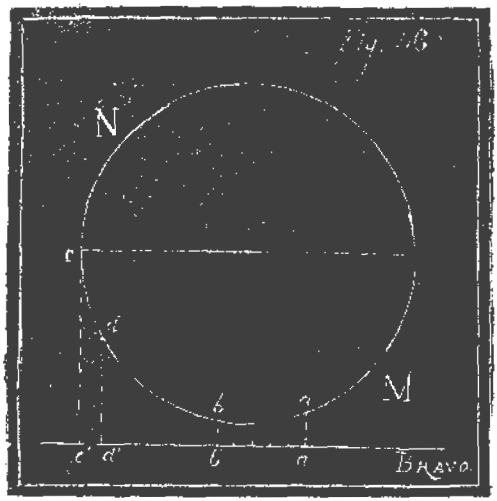
70. *Proyeccion ortográfica.* En este sistema debido á Apolonio que vivió 200 años antes de Jesucristo se supone á la tierra aislada en el espacio. De cada punto de su superficie bájase una perpendicular sobre un plano, que represente el plano de proyeccion. El pié de la perpendicular dará la posicion de cada punto correspondiente sobre la carta. Se escoge ordinariamente por plano de proyeccion el ecuador, ó un meridiano cualquiera. En el primer caso, el polo se proyecta en el centro de la carta; los meridianos serán líneas rectas que divergen de dicho centro y forman los radios del círculo; los paralelos serán círculos concéntricos al ecuador, representado por el círculo exterior. La fig. 44 representa dicha proyeccion, en la cual el punto central, no solo representa la proyeccion del polo, sino tambien la del eje del mundo perpendicular al plano. En el segundo caso los meridianos son elipses que tienen por eje comun la línea de los polos proyectada paralelamente al plano, y los paralelos son rectas perpendiculares á dicha línea, como se vé en la fig. 45. En este sistema de proyeccion ortográfica se representan en su verdadera magnitud las regiones centrales, pero mientras mas se acercan á los bordes de la carta, más se deforman los contornos, disminuyendo cada vez más la relacion de magnitud de las proyecciones con respecto á la superficie de la region que quiere proyectarse. En efecto, sea MN (fig. 46) el círculo ecuatorial proyectado; tómense dos arcos iguales *ab, cd,* uno en el centro de la figura, el otro en el borde; sus proyecciones serán a' b', c' d'; comparando estas dos proyecciones,



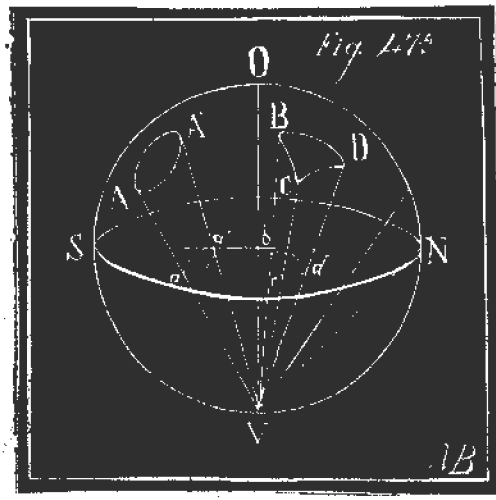
claro se vé que $a' b' > c' d'$, y la relacion que hay entre ellos es aproximadamente como 1 á 5. Segun esta especie de proyeccion se nos presentan los astros de diámetro mensurable, como la luna, el sol, los planetas; la tierra misma se presentaria, vista desde la luna, bajo la forma de la proyeccion ortográfica.



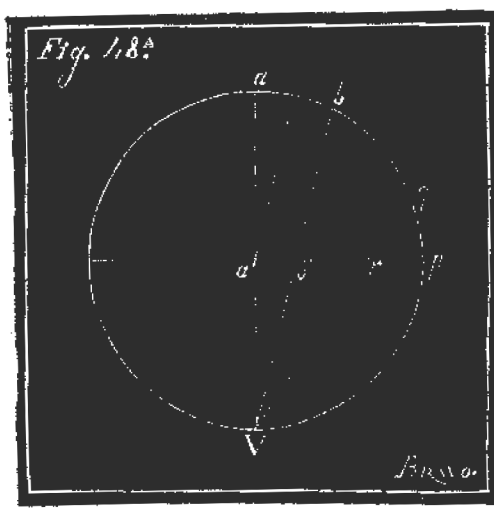
71. 2º *Proyeccion estereográfica.* Esta segunda especie de proyeccion, debida á Hiparco, dá una verdadera perspectiva del hemisferio que se quiere representar. El plano de la carta es la base misma del hemisferio, y el ojo del observador se supone situado en la extremidad del diámetro perpendicular á ese plano; ó de otro modo, supuesto el hemisferio SON (fig. 47) que se trata de proyectar, el plano será la base de ese mismo hemisferio SN. En este caso, imaginando á la tierra trasparente, y puesto el observador en V, dirigirá sus visuales á los diferentes puntos de la superficie. Las intersecciones de estas visuales con el plano de proyeccion darán las posiciones de los puntos correspondientes. Así la elipse AA′ corresponderá á la elipse $a\ a'$, y el triángulo BCD al triángulo $b\ c\ d$. En este sistema los cír-



culos trazados sobre la superficie del globo, cualesquiera que sean, tienen tambien por proyeccion círculos aunque más pequeños, á excepcion de los que pasan por el eje óptico, pues estos están representados por líneas rectas. Así mismo, los triángulos estarán representados en proyeccion por triángulos semejantes. Con todo, en este sistema las diferentes figuras trazadas sobre el globo no tienen la misma relacion con sus proyecciones. En efecto supongamos que deba proyectarse el arco *a b* (fig. 48); las proyecciones de sus extremidades

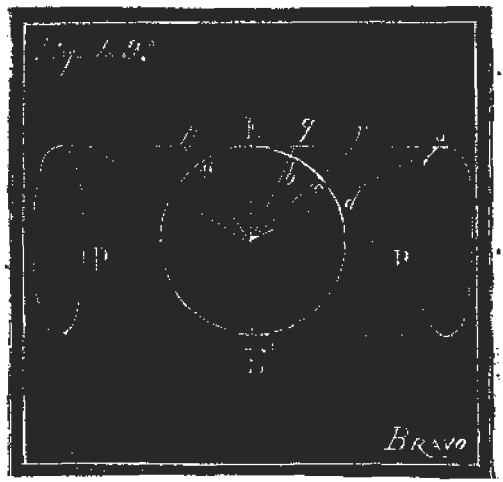


serán los puntos *a' b'*, y todo el arco será representado por la línea *a' b'*; pero por la geometría sabemos que $a' b' = \frac{1}{2} a b$, por consiguiente, las líneas proyectadas al centro del globo serán reducidas á la mitad, y la superficie á la cuarta parte. Si ahora consideramos un arco *pq* en el borde del hemisferio, este será representado en la proyeccion por la línea *pr*; pero la misma geometría demuestra que *pq* es casi igual á *pr*, y tanto más, cuanto más se acerca al orígen del arco *p*; por lo tanto, la proyeccion de las partes cercanas á los bordes serán representadas sensiblemente en su verdadera magnitud.



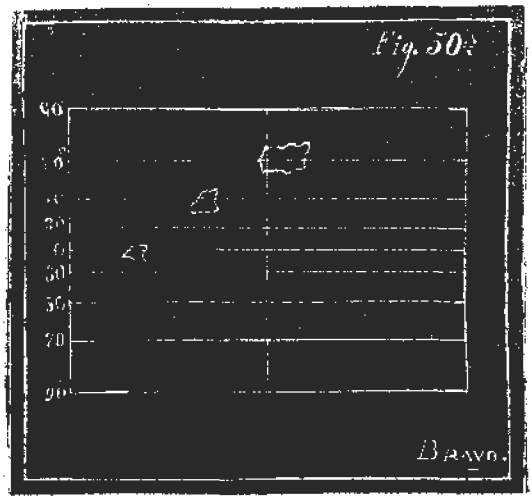
72. 3º *Proyeccion Homalográfica.* Babinet, miembro del Instituto de Francia, ha imaginado esta especie de proyeccion. Este sábio académico se propuso, no solo evitar los inconvenientes de deformacion que presentaban los dos sistemas anteriores, sino tambien obtener la ventaja de representar, por medio de partes iguales tomadas sobre el plano de proyeccion, las partes iguales de la esfera. En este sistema los círculos de latitud están representados por rectas paralelas que se alejan poco á poco una de otras, á medida que se acercan á los polos, mientras que los meridianos, á excepcion del primero que representa por una recta la proyeccion de un círculo, están representados por arcos elípticos á igual distancia uno de otro, de modo que las superficies interceptadas por dos meridianos respectivos sean iguales, y las superficies comprendidas entre dos paralelos correspondientes, en igualdad de base, serán tambien iguales. Este sistema ofrece una gran ventaja sobre los otros arriba expuestos, especialmente en las cartas particulares, pues expresa exactamente la relacion de magnitudes de la region de que se trata, con su proyeccion.

73. *Cartas particulares de Mercator.* La proyeccion de Mercator es enteramente artificial, pues en lugar de representar la esfera, como se veria simultáneamente desde un punto cualquiera, representa las diversas partes, de modo que el ojo las vea sucesivamente una despues de otra, segun la marcha de los meridianos, aunque para la construccion se suponga en el centro del globo. Concíbase un cilindro de papel que envuelve al globo, y sea solo tangente al círculo ecuatorial. Si el observador, supuesto en el centro del globo, dirige las visuales á los varios puntos *a*, *b*, *c*, *d*, (fig. 49), estas serán las secantes del círculo que encontrarán á las tangentes en los puntos *p*, *q*, *r*, *s*: dichos puntos serán las proyecciones de los que quieren representarse. Claro está que cuanto más se alejan del ecuador las secantes, en tanto mayor escala serán representadas las partes del globo, hasta que llegando á la proyeccion de los polos P y P′, estas serán infinitas, por ser para-



ielas á la tangente. Una vez desarrollado el cilindro de papel, se verá que el polo está representado por el límite del cilindro paralelo al ecuador, como si el punto que representa el polo en el globo se hubiera extendido hasta formar una línea igual y paralela al ecuador. De este modo todos los meridianos no serán más que líneas rectas perpendiculares al ecuador.

74. En este sistema, por lo dicho anteriormente, se representa fielmente en cuanto á la forma cada porcion pequeña en particular, aunque sobre una escala muy diferente segun las regiones, pues aumentando las secantes, aumenta la escala de la proyeccion, á medida que se acerca al polo. La adjunta fig. 50 dá una idea de dicho aumento, tratándose de representar una isla que abraza en su superficie el mismo número de grados pero á diferentes latitudes. Esta particularidad que sería un inconveniente muy grande para las cartas geográficas ordinarias, constituye una ventaja para las cartas de los marinos; pues estos teniendo que registrar y marcar en los mapas el itinerario de sus viajes, con los mapas ordinarios tendrían el inconveniente de abarcar con un punto en la demarcacion, no solo varios minutos, sino tambien grados, cuanto más se acercasen á los polos; mientras que con el sistema de Mercator, en igualdad de circunstancias, pueden tener cuenta de los minutos y segundos en una escala mayor, lo que dá medios oportunos para resolver muchas cuestiones relativas á la navegacion.



CAPITULO II.

ROTACION DE LA TIERRA.

§ 1.

Pruebas del movimiento de rotacion.

75. 1º *Por su forma esferoidal.* Habiendo demostrado que la figura de la tierra no es perfectamente esférica, tratemos de averiguar cual puede ser la causa. Por la mecánica se sabe que todo cuerpo fluido, animado de un movimiento de rotacion al rededor de su eje, cambia de forma en virtud de la fuerza centrífuga. La masa aumenta en el sentido paralelo al movimiento de rotacion, y disminuye en el sentido perpendicular. Ahora bien, estando averiguada la fluidez primitiva de la masa terrestre, no solo por las aguas de su superficie, sino mucho más por la inmensa cantidad de materias incandescentes líquidas en su interior, y observándose un levantamiento en el ecuador, y una depresion en los polos, debe concluirse que esta forma esferoidal no puede atribuirse á otra causa diferente de la de un movimiento de rotacion al rededor de su eje.

76. La forma elipsoidal de la tierra importa una acumulacion de la masa terrestre en el sentido del ecuador y una disminucion en los polos: así mismo, en donde se acumula la masa es necesario disminuya la gravedad, pues aumenta el radio, y en donde la masa disminuye, es preciso que la gravedad aumente por disminuir el radio: pero esto no podria verificarse, si no existiese la fuerza centrífuga que sabemos produce dichos efectos, y está en razon inversa de la gravedad; por otra parte, hemos probado anteriormente que el radio terrestre ecuatorial es mayor que el radio polar; luego es necesario admitir en el globo terrestre una fuerza centrífuga que produzca dichos efectos, y por lo tanto un movimiento de rotacion.

77. En cuanto á la fluidez de la masa terrestre que podria ofrecer alguna dificultad, aunque pertenezca á los Geólogos demostrarla, sin embargo no será inútil decir sobre ella unas pocas palabras. Es opinion generalmente admitida que la tierra en su orígen fué una masa ígnea incandescente, así como los demás cuerpos celestes, que se formaron á varias distancias del sol por la mútua atraccion de las moléculas de la materia cósmica que se hallaba en movimiento á su derredor. Dichos cuerpos son los que constituyen ahora los planetas de nuestro sistema. La tierra, pues, en ese estado de incandescencia, en el curso de los siglos fué enfriándose, por la cesion de su alta temperatura á los espacios, y condensándose poco á poco al rededor del centro, pasó del estado gaseoso al líquido y del líquido al

sólido en su costra exterior. Siendo esta bien poco espesa en un principio, no podia menos de sufrir espantosas convulsiones y rompimientos por efecto de la fuerza expansiva, ya del vapor de agua, ya de los gases encerrados. Las partes solidificadas y despedazadas volverian á mezclarse con la parte líquida; pero siguiendo posteriormente el enfriamiento, vino poco á poco dicha costra á tener la forma compacta, que presenta en la actualidad.

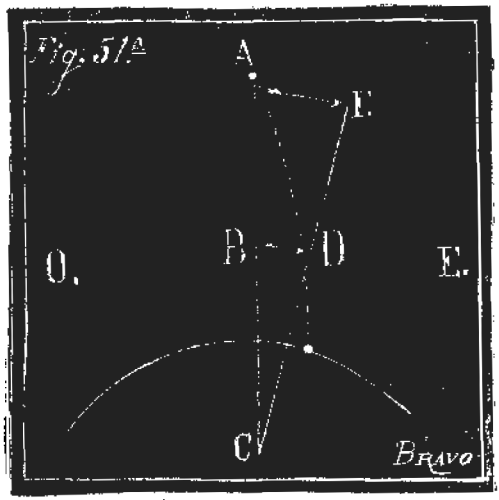
78. Fúndase esta opinion en el exámen practicado en la misma costra terrestre, pues claramente se manifiestan los levantamientos del terreno en capas de diferente naturaleza calcáreas, graníticas, silíceas etc. ya horizontales, ya oblicuas ó en ángulo, cuyas formas expresan, sin duda, el efecto de una fuerza de impulsion en sentido contrario á la fuerza de gravedad. No tratamos ahora si en la actualidad rige todavia la opinion de algunos geólogos que representan á la tierra bajo la forma de una gran masa de agua toda cubierta de pedazos de hielo; pues aun admitida la fluidez primitiva de nuestro globo, no se sigue que en la actualidad se halle tan delgada su costra exterior que pueda ser representada por los pedazos de hielo, porque entonces las consecuencias serian fatales. Unicamente advertiremos que no han faltado algunos que han demostrado, tomando los argumentos de la astronomía, que al presente la tierra en su totalidad se halla en estado sólido, á excepcion quizás de unas cuantas partes centrales, que dán lugar á las erupciones volcánicas.

Dejando, pues, á los geólogos esta cuestion, diremos solamente que la forma elipsoidal de la tierra no podia proceder de otra causa, sino de un movimiento de rotacion al rededor de su eje, mientras se hallaba en estado fluido.

79. 2ª *Por la caida de un grave.* Otra prueba directa de la rotacion de la tierra fué propuesta por Guglielmini. Consiste el experimento en dejar caer desde una grande altura un cuerpo muy pesado; este en lugar de describir la normal al horizonte, en su caida se desviará de la vertical. Se hizo este experimento por Bensberg en las minas de Schlebuscher, dejando caer una enorme masa de una altura de 262 piés, la cual tuvo una desviacion de la vertical de 5,$^{lin.}$09 hácia el Este, resultando el hecho conforme á la teoría. En efecto: en el punto más alto A (fig. 51) la velocidad de rotacion AE es mayor que la velocidad en el punto más bajo BD en proporcion de los radios AC, BC; el cuerpo, pues, habiendo adquirido en A una velocidad mucho mayor que en los demás puntos de su caida, se encontrará adelantado hácia el Este en cada una de las capas inferiores; por lo tanto, será solicitado por una fuerza de proyeccion resultante de los dos movimientos é igual á la diferencia AE—BD; describirá, pues, una parábola con direccion hácia el Este.

80. *Por la oscilacion del péndulo.* El experimento más óbvio pa-

ra demostrar el movimiento de rotacion de la tierra es el siguiente descubierto por Leon Foucault en Paris en 1851. Si una gran masa de plomo se suspende de un alambre que tenga una longitud suficientemente grande, y se hace oscilar en una direccion cualquiera, la mecánica enseña que, por la inercia de la materia, el plano de oscilacion, á no haber otra causa que lo estorbe, debe permanecer siempre invariable en el espacio. Pero la observacion nos manifiesta lo contrario, pues dicho plano cambia de posicion, aunque el péndulo permanezca en el mismo estado, dirigiéndose hácia la derecha ó hácia á la izquierda, segun la posicion del observador en uno ú otro hemisferio, describiendo en un dia un ángulo cuyo valor depende de la latitud del lugar [1]. Siendo esto así, á ménos de destruir las leyes que rigen la materia, debemos deducir que la variacion en el



(1) Para explicar este fenómeno, es necesario dar una idea de la teoría de las rotaciones, que se reduce á hallar la regla general del movimiento en las rotaciones de un eje diferente, y es la siguiente: Dadas dos rotaciones que impulsan simultáneamente á un cuerpo, se hallará la rotacion única resultante, tomando sobre los ejes de las respectivas rotaciones longitudes proporcionales á las mismas rotaciones; y construyendo sobre ellas un paralelógramo, su diagonal representará en magnitud la rotacion resultante y en direccion el eje de rotacion de la misma.

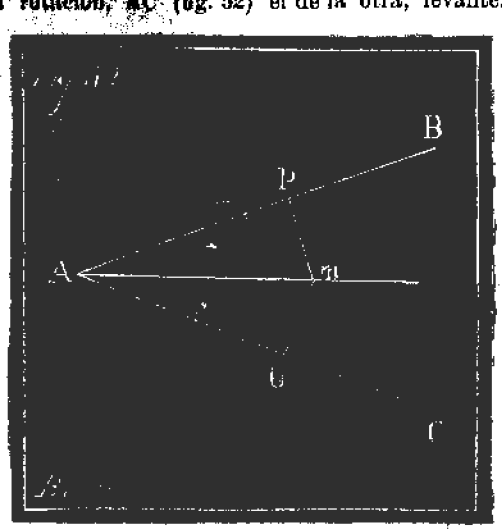
Cuando un cuerpo gira al rededor de un eje invariable, todos sus puntos describen círculos paralelos entre sí, cuyos planos son perpendiculares al eje de la misma rotacion. Sea ω un arco descrito con un radio $= 1$ de cualquiera de estos círculos; el arco descrito por un punto que diste del centro una cantidad r, estará expresado por ωr; la cantidad ω se llama velocidad angular del cuerpo, y es la misma para todos sus puntos; siendo sin embargo invariables la velocidad y el eje de la cantidad ωr, es realmente el espacio lineal descrito por el punto en un tiempo determinado. Si hubiese dos ó mas rotaciones simultáneas ó sucesivas en un cuerpo, es claro que este no podria obedecer á todas ellas simultáneamente, sino que se estableceria una rotacion única, cuya magnitud y direccion sería preciso determinar. Podra

plano de oscilacion es aparente, y el movimiento real pertenece á la tierra. Para entender como este hecho demuestra el movimiento de rotacion de la tierra, supongamos á un observador en el polo que observe la oscilacion de un péndulo el cual se halla sujeto á un punto independiente de la tierra. El plano de oscilacion, á causa de la inercia, se conservará invariable en el espacio, y lo sería aún con relacion á la tierra, si esta estuviera inmóvil; pero si la tierra se mueve al rededor de su eje, cuya extremidad es el polo donde se halla el observador, el plano horizontal girará al rededor del punto en donde él se halla, y por el movimiento relativo le parecerá que el

---

conocerse la direccion de la rotacion si se conoce la posicion del eje. Ahora bien, el eje es determinado por una série de puntos dispuestos en línea recta, que tienen una velocidad absolutamente nula en el espacio. Para hallar la posicion de este eje, será necesario imaginar descritas al rededor de los dos ejes de las rotaciones componentes, los círculos respectivos, y el eje pasará por aquellos puntos en que las velocidades de los dos sistemas de rotacion sean iguales y contrarias, es decir, que se verifique la ecuacion $\omega r - \omega' r' = 0$.

Sea A B el eje de una rotacion, AC (fig. 52) el de la otra, levántense por los puntos P y Q los radios Pm, Qm perpendicularmente á los ejes y dirigidos al mismo punto m: la velocidad angular al rededor del eje AB sea ω y sea Pm=r: la velocidad del punto m será ωr. Así mismo la velocidad del punto m al rededor del eje AC será $\omega' r'$, y el punto m pertenecerá al eje de rotacion, si estas dos cantidades son iguales y de signo contrario. Mas sabemos por la geometría, que esto se verifica siempre que el punto m esté en la diagonal del paralelógramo construido sobre las rectas AB y AC,



pues entonces se tiene Pm × AB = Qm × AC, luego en este caso será $\omega r = \omega' r'$. Por lo tanto el eje de rotacion resultante tendrá la direccion de la diagonal del paralelógramo construido sobre los dos lados que representan las rotaciones componentes tomadas en la direccion de los ejes respectivos.

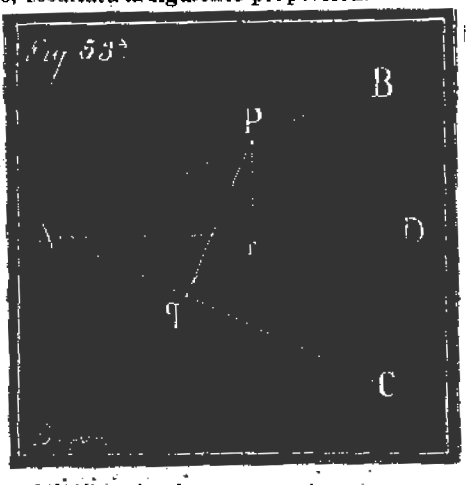
Para probar que la diagonal en su longitud representa la magnitud de la rotacion resultante, ó sea su intensidad, bájense de un punto cualquiera P (fig. 53) de una de las componentes, las perpendiculares Pr, Pq sobre la re-

plano del horizonte del péndulo, vá variando en sentido contrario y en razon de la velocidad que lleva la misma tierra. Ahora bien, este fenómeno se verificará, aun cuando el péndulo estuviera sujeto á un punto que se moviera con la tierra misma, pues bien puede de-

sultante y la otra componente, resultará la siguiente proporcion: AC: AB:: sen. BAD : sen. BAC; mas los triángulos rectángulos PAr, PAq dan, r = Pr = AP sen. BAD, q = Pq = AP sen. BAC dividiendo una ecuacion por otra será $\frac{r}{q} = \frac{\text{sen BAD}}{\text{sen BAC}}$: lo que sustituyendo en la primera ecuacion tendremos:

$$AC : AB :: r : q.$$

Haciendo AC = ω' y AD = Ω, resulta $\omega' q = \Omega r$; por lo tanto si ω' representa la rotacion al rededor del eje AC, Ω representará la rotacion al rededor del eje AD, es decir, representará la resultante.



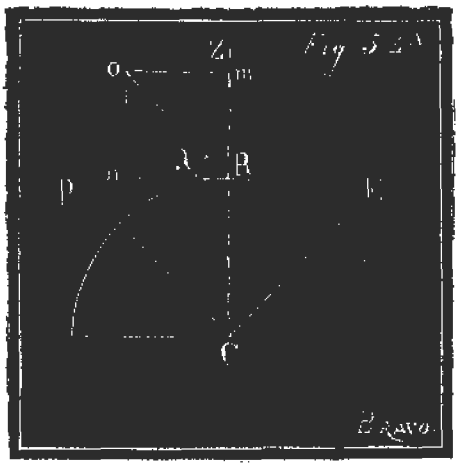
Del mismo modo y con el mismo raciocinio, tendremos para la primera componente $\omega = \Omega r$ de donde resulta finalmente:

$$\omega : \omega' : \Omega :: p : q : r :: AB : AC : AD.$$

Puesto esto, se demuestra en astronomía que la rotacion de la tierra es igual á la velocidad multiplicada por el seno de la latitud; es decir que Vr = v. sen λ. En efecto: la rotacion en un punto cualquiera de la tierra puede descomponerse en dos, una al rededor de la vertical, otra en la horizontal. Si Rm representa la velocidad diurna, la parte Rn (fig 54) representará la rotacion horizontal y tendremos: mR = OR. sen. moR, pero moR = nRo = λ, luego

$$mR = or. \text{ sen. } nRo,$$

ó sea Vr = v. sen. λ. La paralela al horizonte nR no produce efecto alguno, como se experimenta en el ecuador.



mostrarse que el plano de oscilacion permanece invariable; porque si el observador dirige á una estrella una visual paralela al plano de oscilacion, verá que este subsiste invariable en el espacio por dirigirse siempre á la misma estrella; mientras tanto, si dirige dicha visual á un objeto terrestre, observará que este objeto vá variando contínuamente, y por lo tanto, le parecerá que el plano de oscilacion del péndulo se aleja más y más de su posicion primitiva, describiendo los 360° en el espacio de 24 horas siderales.

81. Si el péndulo se traslada al Ecuador, no tendrá lugar la desviacion. En efecto, si se le dejara oscilar paralelamente al plano del meridiano, por su propia inercia quedará el péndulo paralelo á sí mismo como en el primer caso. Si consideramos ahora el movimiento de la tierra, que se verifica de Oeste á Este, dicho movimiento no perturbará en nada el plano de oscilacion, verificándose en el sentido paralelo. La experiencia comprueba la teoría, pues cualquiera que sea la direccion del plano de oscilacion, siempre sigue invariable: de lo que se concluye que en el polo la desviacion del péndulo es igual á velocidad de rotacion de la tierra, es decir, á 15° por hora, pues la posicion del círculo de rotacion, siendo paralelo al horizonte, es perpendicular al plano de oscilacion, mientras que en el Ecuador es nula, verificándose las condiciones contrarias.

82. En las latitudes intermedias en que la posicion del círculo de rotacion es más ó ménos oblícua al horizonte, la desviacion del plano de oscilacion será mayor ó menor segun que la latitud sea más alta ó más baja. En París, segun el cálculo y la experiencia, siendo la latitud = 48°, 50′ el ángulo de desviacion es = 13°, 48′: en Roma, cuya latitud es 41°, 54′, el valor de la rotacion es $\frac{2}{3}$; por lo tanto, el ángulo de desviacion es 10° por hora. En Santiago de Chile cuya latitud es = — 33°, 28′ resulta del cálculo que la desviacion debe ser poco mayor que $\frac{1}{3}$ ó sea = 5°, 25′ por hora.

83. Las oscilaciones del péndulo, cuya variacion en el plano de oscilacion demuestra la rotacion de la tierra, prueban tambien la disminucion de la gravedad de los polos al Ecuador, consecuencia de la forma esferoidal de la tierra. La duracion de una oscilacion está, como enseña la física, en razon directa de la longitud del péndulo, lo que demuestra la fórmula $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$: luego cuanto más largo es un péndulo, mayor será la oscilacion; así mismo se demuestra que el *tiempo de una oscilacion para péndulos de igual longitud está en razon inversa de la gravedad*; de aquí se concluye que, si el tiempo de una oscilacion es menor en los polos y mayor en el Ecuador, el valor de g será menor en el Ecuador y mayor en los polos. La experiencia ha demostrado la exactitud de la teoría, pues observada la

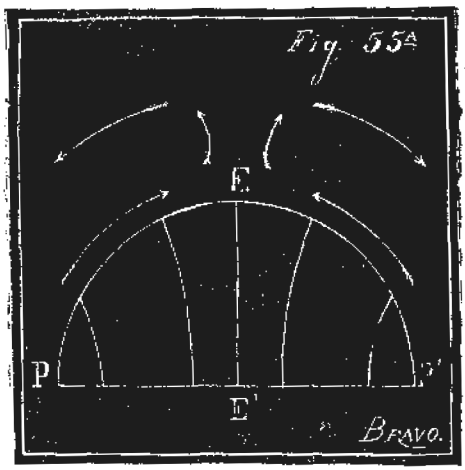
oscilacion de un péndulo de igual longitud en París y en Cayena, se notó que la diferencia de tiempo llegaba á un minuto en 24 horas. Este resultado, á más de probar la diferencia del radio terrestre, demuestra tambien la existencia de la fuerza centrífuga, la cual disminuye la gravedad, al paso que aumenta su intensidad, y más directamente obra contra la direccion de aquella. Admitiendo, pues, una fuerza centrífuga, hay que admitir en la tierra un movimiento de rotacion al rededor de su eje.

§ 2.

Fenómenos que dependen de la rotacion de la tierra.

84. El globo terrestre se halla rodeado de una atmósfera gaseosa, que es el aire que respiramos. Esta atmósfera está sujeta á la fuerza de gravedad, y girando la tierra al rededor de sí misma, participa del mismo movimiento de rotacion, y de consiguiente, de su forma achatada en los polos y elevada en el Ecuador. Este movimiento de rotacion produce el notable fenómeno de los vientos *alisios*, descubiertos por Colon en su célebre viaje al Oeste.

85. Sabido es que el sol se halla siempre en el zenit de uno de los puntos de la zona comprendida entre los trópicos. En todos los puntos de esta zona, el sol llega á colocarse cada dia á la altura máxima sobre el horizonte, y conserva allí una temperatura mucho más elevada que en las regiones polares. El aire calentado de esta zona aumenta considerablemente de volúmen, y disminuyendo su densidad, se eleva á las altas regiones en donde, no siendo equilibrado por suficientes presiones laterales, se dirige por uno y otro lado hácia los polos de la tierra, produciendo dos corrientes en sentido opuesto [fig. 55], segun lo indican las flechas; mientras tanto en la parte inferior se halla reemplazado por el aire más frío y más denso, que ocupaba las regiones situadas entre los círculos polares y los trópicos. Ahora bien, á causa del movimiento de la tierra, la velocidad de rotacion de los varios puntos de la superficie terrestre, aumenta en ra-



zon de los radios de los círculos de latitud desde los polos al Ecuador, en donde es máxima. El aire, en el estado de calma, debe participar del movimiento rotatorio del lugar en donde se halla. Pero, cuando se produce la corriente hácia el Ecuador para sustituir al aire calentado por el sol, pasa sucesivamente de una latitud en donde la rotacion es menor, á otra en donde es más rápida; entonces antes que le sea comunicada esta última velocidad, gira con menor velocidad que la superficie sobre la cual se halla, es decir, que se atrasa en su movimiento con relacion al movimiento de rotacion que lleva el círculo á donde se dirige. De este modo las corrientes de aire que se producen en las regiones inferiores, rozando la superficie terrestre, parecerán tomar una direccion en sentido contrario á la del movimiento del globo, es decir de E. á O. Por lo tanto, estas corrientes que, sin el movimiento rotatorio de la tierra, serian perpendiculares al Ecuador, y resultarian simplemente vientos de N. y S., por la rotacion de la tierra siguen una resultante, y son vientos de NE. en el hemisferio boreal, y de SE. en el austral. En cuanto á la direccion de las corrientes superiores, claro está que esta debe ser en sentido contrario á la de los *alisios*. Verificándose la sustitucion del aire frío al aire caliente del Ecuador en los círculos tropicales, no pueden tener lugar los vientos *alisios* fuera de los trópicos.

86. Otros fenómenos en la superficie terrestre, consecuencia del movimiento de rotacion, son la direccion de las corrientes marinas, la de los desbordes de los rios, y de los descarrilamientos de los ferrocarriles, los cuales se verifican siempre hácia el E., por la misma razon que dijimos se desvía una piedra que cae hácia el Oriente, todo lo cual puede servir para demostrar el movimiento de rotacion de la tierra.

87. Otro argumento en favor de la rotacion es el fenómeno de la precesion de los equinoccios, el cual no podria tener lugar si la tierra estuviera firme. Mas de esto hablaremos despues. [Cap. III § 3].

§ 3.

Prueba indirecta.

88. Dijimos al principio, que las estrellas en la esfera celeste giran de Oriente á Poniente, completando el círculo entero en 24 horas. Para explicar este movimiento, observaremos que se produce el mismo fenómeno, sea que, hallándose la tierra en estado de reposo, se muevan las estrellas, sea que, estando las estrellas en quietud, se mueva la tierra en sentido contrario. Veamos cual de los dos movimientos es más probable. Si la tierra gira en 24 horas al rededor de

su eje, siendo su radio ecuatorial = 1435 leguas, y su circunferencia = 9.011, un punto cualquiera del ecuador debe recorrer seis leguas y media por minuto, ó sea un poco más de 0,1 de legua por segundo, lo que dá por término medio 463 metros por segundo. Esta velocidad que pareció en otro tiempo demasiado grande, fué siempre una objecion al movimiento de rotacion de la tierra. Veamos ahora qué velocidad en sentido contrario al movimiento de la tierra, deberian tener los astros. El sol, cuya distancia á la tierra, es aproximadamente 24,000 veces el radio terrestre, describiria una circunferencia 24,000 veces más grande, es decir, que deberia tener una velocidad de 2,400 leguas por segundo. Júpiter alejado de la tierra cinco veces más, describiria 12,000 leguas, y Neptuno treinta veces más lejos, deberia recorrer 72,000 leguas por segundo. La estrella más cercana á nuestra Tierra que es α del Centauro, y cuya distancia es 226,400 veces la distancia del Sol á la tierra, deberia recorrer 63.936,000 leguas por segundo. ¿Qué será de las estrellas más lejanas? Claro se vé, pues, que la objecion contraria al movimiento de un punto ecuatorial de la Tierra de 0,1 de legua por segundo es absolutamente nada en comparacion de los millones y millares de leguas, que deberian recorrer las estrellas, si á estas perteneciera el movimiento *diurno* y nó á la tierra. Con lo cual queda probado que este movimiento de la esfera celeste en 24 horas es solo aparente, perteneciendo á la Tierra el movimiento real de Oeste á Este.

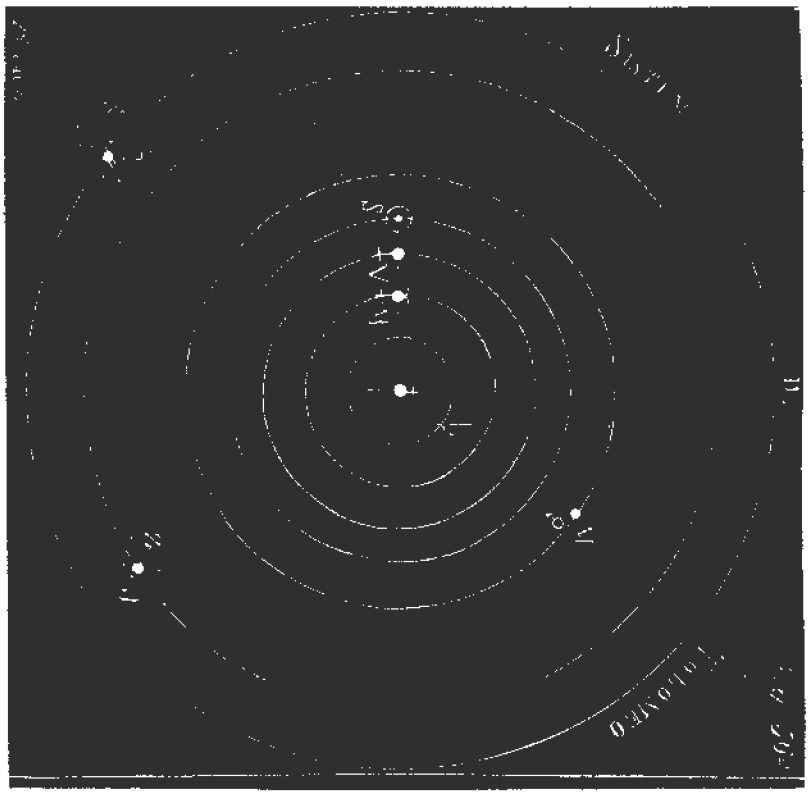
CAPITULO III.

Movimiento de traslacion.

§ 1.

89. Desde la antigüedad se ha tenido la opinion de que la tierra está inmóvil en el centro del universo. Sin embargo, entre la generalidad no faltaron filósofos que sospecharon y sostuvieron el movimiento de la tierra en el espacio. Tales fueron, entre otros, Filolao, Aristarco Samosateno y Cleanto de Assos, el cual, segun refiere Plutarco, se esforzó por explicar de algun modo los movimientos de los cuerpos celestes por el movimiento de la tierra al rededor del sol, combinado con el de rotacion al rededor de su eje. Es inútil decir que dicha opinion no encontraba adhesion alguna de parte de los

pueblos, antes bien, como á la opinion general iba unida cierta idea religiosa, no faltaron aún filósofos de la opinion comun que entablaran acusaciones de irreligiosidad é impiedad contra los defensores



del movimiento de la tierra. Así fué que, por una larga série de siglos, se conservó la idea de la quietud de la tierra en el centro del universo. Este sistema de los antiguos, segun nos lo ha trasmitido Tolomeo [y por esto lleva su nombre], presenta á la tierra como el centro de los movimientos de los planetas, reconociendo, sin embargo, alguna relacion de dependencia entre los movimientos de estos y el sol, aunque no les habia sido todavía posible llegar á comprender las difíciles complicaciones del verdadero sistema del mundo. La fig. 56 representa el sistema segun la hipótesis adoptado por los antiguos. La tierra se halla en el centro T, á cuyo derredor gira más

cercana la Luna L. En cuanto á Venus y Mercurio, creyendo algunos que estaban al otro lado del sol y poniéndolos otros entre el sol y la Tierra, Tolomeo se adhirió más bien á esta última opinion, suponiendo, sin embargo, á Mercurio más cercano á la tierra por ser más corto el tiempo de su revolucion sobre su círculo. Despues de V[illegible] sigue el Sol en S, Marte en M, Júpiter en J, y Saturno en [illegible]. Cada uno de estos astros llamados planetas, á excepcion del Sol, describia un pequeño círculo, que llamaban *epiciclo*, al rededor de un centro imaginario, que por el movimiento del planeta en el espacio al rededor de la tierra describia él tambien un círculo mayor llamado *deferente*, en cuyo centro se hallaba la tierra. Los radios de los deferentes que pasaban por los centros de los epiciclos de Mercurio y Venus se dirigian siempre hácia el Sol. Los radios trazados de Marte, Júpiter y Saturno al centro de sus epiciclos respectivos, quedaban siempre paralelos á la línea que une la tierra con el sol, y finalmente los deferentes de los siete astros errantes venian á ser excéntricos con relacion á nuestro globo. Este es el sistema de Tolomeo del cual cada hipótesis es ahora un absurdo, tanto más si se añade que más allá de Saturno no creian los antiguos que hubiese mas que una esfera sólida, en donde estuvieran fijas las estrellas, y que ellos llamaron el *firmamento*.

90. En este estado se hallaba la ciencia astronómica cuando Copérnico, uno de los más eminentes astrónomos del siglo XV, canónigo de la Catedral de Thorn en Prusia, intentó resolver las dificultades del problema, volviendo á sostener las ideas de Filolao filósofo Pitagórico, que habia defendido el doble movimiento de rotacion y traslacion de la Tierra. Comenzó, pues, á examinar si esta opinion podia conciliarse con los hechos observados; y halló realmente que el movimiento de traslacion de la tierra al rededor del sol, era un fundamento propio para determinar con exactitud las relaciones de distancia de los planetas al sol, y además explicaba admirablemente los movimientos directos y retrógrados de Marte y Venus: esplicacion que fácilmente se ha extendido á los demás planetas. Empezó luégo hácia el año de 1507, á coordenar sus ideas y á consignar por escrito sus descubrimientos, emprendió una série de observaciones, y comparándolas con las que él no podia hacer por sí mismo y que habian sido consignadas por otros, entrando en los detalles y en el cálculo de los fenómenos, se animó á explicar los hechos más complicados en el sistema del mundo. Todos estos descubrimientos, fruto de un trabajo atrevido y prolijo, ejecutado por el espacio de 23 años, los expuso Copérnico con un órden admirable en su obra *De revolutionibus orbium coelestium*. No podia ménos de excitar la atencion de los astrónomos la noticia que se habia esparcido de unas ideas tan nuevas, y tan contrarias á la opinion comun. Unos, admirando

los atrevidos resultados de Copérnico, deseaban conocer el desarrollo de su trabajo, y le animaban á publicar su obra; otros al contrario, excitados ya por la envidia, que nunca falta en estas circunstancias, ó ya por demasiada escrupulosidad religiosa, (por atribuir á la Tierra un movimiento que segun ellos estaba en abierta contradiccion con la Santa Escritura, leyéndose en el Eccles. cap. I, v. 4. *Terra autem in aeternum stat)*, se declararon en contra de la hipótesis del sábio astrónomo.

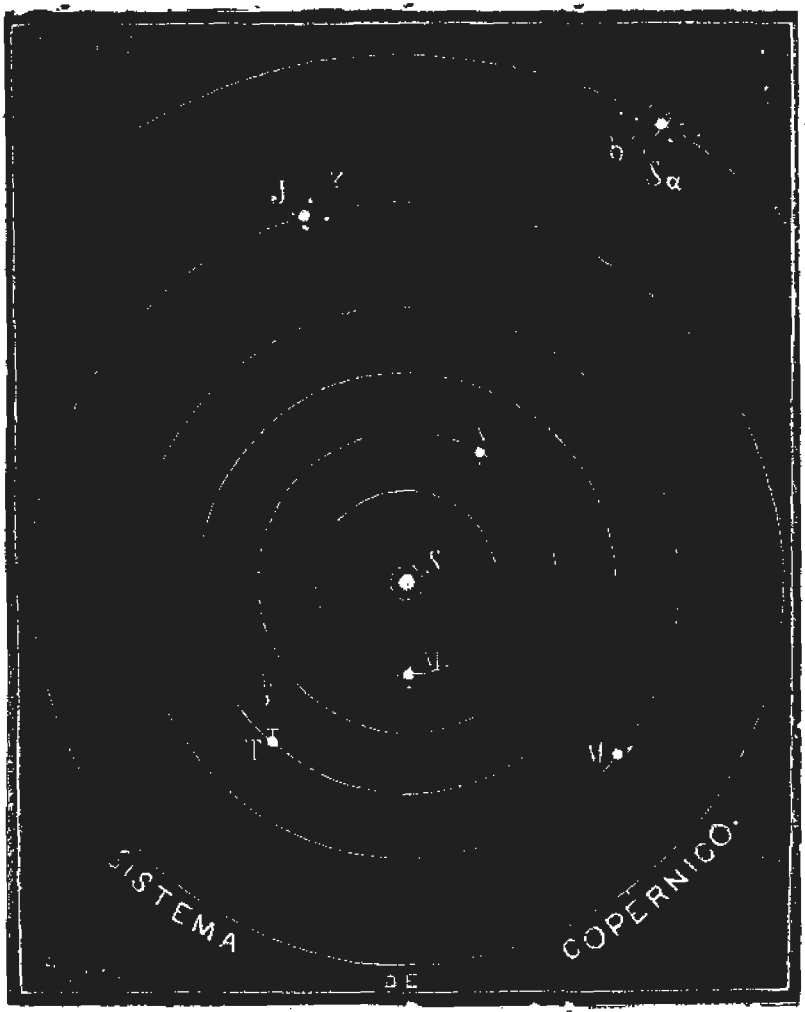
91. Bajo la impresion de estas opiniones tan opuestas, no se resolvia Copérnico á publicar su obra; entretanto añadia en ella lo que más y más confirmaba su hipótesis, y corregia lo que por observaciones ulteriores y más exactas creía oportuno enmendar: finalmente por las instancias de sus amigos que eran los más, consintió en la publicacion. Pero para tener un apoyo seguro en contra de sus adversarios, dedicó su obra al Papa Paulo III, como protector que era de todas las ciencias, "para que no se me acuse, decia él al Romano "Pontífice, de que huyo el juicio de personas esclarecidas, y para "que la autoridad de Vuestra Santidad, si aprueba mi obra, me ga-"rantice de las mordeduras de la calumnia." [1].

92. Aunque Copérnico llegó á formular su sistema, que no es otra cosa que el verdadero sistema solar, en la actualidad universalmente adoptado, sin embargo, manifiesta en su obra que no renuncia á los deferentes y á los epiciclos de los antiguos para explicar las irregularidades de los movimientos del sol. Aun así no es pequeña la gloria que cabe al sábio astrónomo, por haber plantcado el verdadero sistema, que con justa razon lleva su nombre. El sol, foco de toda accion, hállase en el centro; á su rededor giran por órden de distancia, los planetas, Mercurio, Venus, la Tierra con su satélite la Luna, y fuera de la órbita terrestre, los otros planetas Marte, Júpiter, y Saturno. La fig. 57 representa el sistema que actualmente sostiene la ciencia astronómica, despojado, sin embargo, de aquella imperfeccion que en tiempo de Copérnico no era posible corregir.

93. Ticho-Brahé en 1587, no contento con el sistema de Tolomeo, ni con el de Copérnico, dominado más bien por cierto espíritu de religioso temor, y para no dar motivo á nuevas acusaciones, como

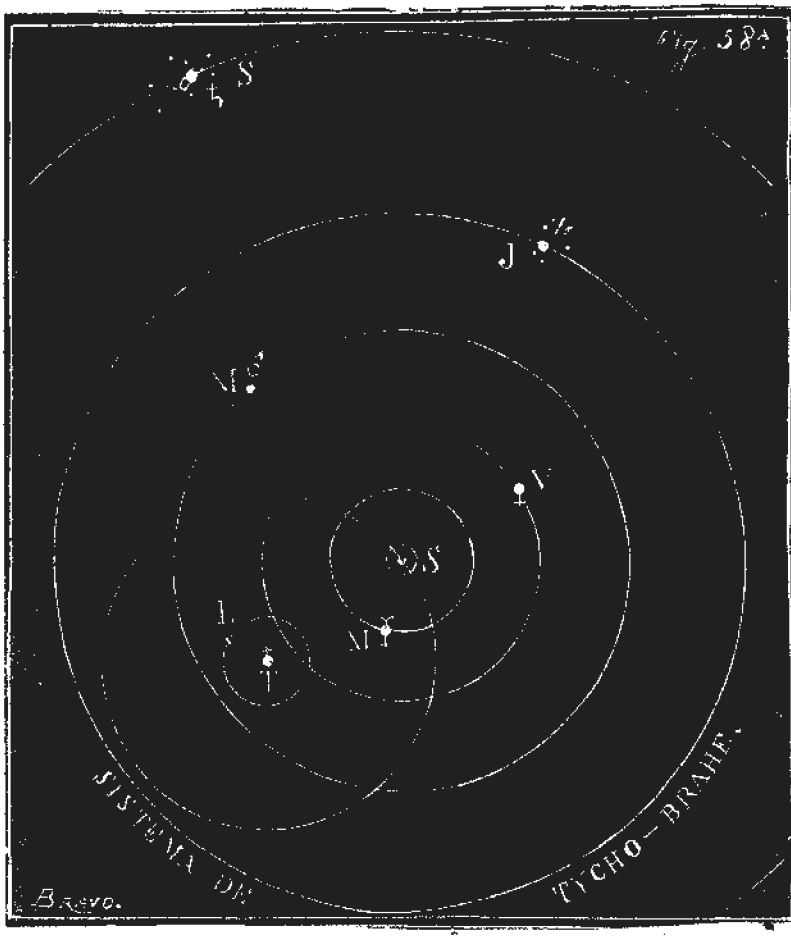
(1) La obra de Copérnico fué impresa en Norenberg por Rhéticus, su discípulo; mientras tanto él cayó gravemente enfermo, y solo pocas horas antes de morir recibió el primer ejemplar que Rhéticus le habia remitido, y que él solo pudo ver y tocar en aquellos momentos en que bien diferentes debian ser sus atenciones. Murió el 24 de Mayo de 1543 á la edad de 70 años. "Sacerdote tan piadoso, como profundo astrónomo, dice Rohrbacher en su historia universal de la Iglesia (Lib. 83, pág. 9) Copérnico terminó santamente una vida de ciencia y de buenas obras." Habia nacido en Thorn el 19 de Febrero de 1473 y la posteridad le elevó un monumento el 19 de Febrero de 1873.

habia sucedido á todos los que habian defendido el movimiento de la tierra, admitió más bien el sistema de Apolonio de Perga, segun el



cual la tierra ocupa el centro, y el sol, al rededor del cual giran todos los demás planetas, dá vuelta con todo su cortejo al rededor de la Tierra. Sin embargo, admitia que esta tuviese por satélite á la Luna [fig. 58]. Proponiendo este sistema Tycho-Brahé no renunciaba tampoco á los epiciclos y deferentes para explicar como, Co-

pérnico, las irregularidades en los movimientos del sol. Era tambien de opinion que todas las estrellas estaban muy cerca de la órbita de Saturno, pues seria absurdo, decia, creer que existan espacios vacíos de estrellas y de planetas.



94. Galileo, despues de haber inventado el telescopio en 1610, y habiendo, primero que nadie, podido observar las manchas en el Sol, las montañas y valles en la Luna y los satélites de Júpiter, por sus mismas observaciones se inclinó á admitir el sistema de Copérnico, afirmando el movimiento de la Tierra. Manifestó sus descubrimien-

tos en las cátedras de Pisa y de Florencia, y en 1616 escribió una carta á María Cristina, gran Duquesa de Toscana, en la que con razones sacadas de los Santos Padres sostenia que el nuevo sistema adoptado por Copérnico, podia muy bien conciliarse con lo que estaba consignado en las Santas Escrituras. Pero esto le valió una acusacion por parte de sus contrarios ante el tribunal de la Inquisicion, el cual prohibió la carta de Galileo, y dió á conocer públicamente los pasajes del libro de Copérnico que, mal interpretados, podian ser peligrosos; y sólo permitió enseñar el sistema *como hipótesis, mas nó como tesis.* Así mismo, fué condenada por la Inquisicion una disertacion publicada en 1615 por el sábio Foscarini, monje Carmelita napolitano, en que trataba de conciliar el sentido literal del pasaje de la Escritura con el sistema de Copérnico, haciendo notar que la Biblia en general y el Génesis en particular no son obras en que se discute la ciencia, sino en que los SS. Escritores, para darse entender, se conforman de ordinario con el lenguaje del vulgo.

95. Galileo, resentido de la decision del tribunal de la Inquisicion, compuso y publicó en Florencia una obra titulada *Los Diálogos,* en que discutia el asunto, resultando defendido el nuevo sistema. La Inquisicion prohibió la obra, y en 1633 obligó á Galileo á presentarse en Roma, en donde se le mandó abjurase de rodillas sus arriesgadas interpretaciones [1]. Refieren que despues de haber pronuncia-

(1) Los enemigos de la Iglesia, que no dejan pasar ocasion de declamar contra ella, empeñados en probar con argumentos de hecho que no solo no favorece el desarrollo de las ciencias, sino que se muestra enemiga declarada de todo adelanto, levantan el grito al cielo y créense con razon para cantar el triunfo, cuando se trata de la pretendida persecucion que sufrió Galileo por sus descubrimientos astronómicos, y de su condenacion en el Tribunal de la Inquisicion Romana. Felizmente está harto probado, no solo por las cartas del Conde Guicciardini y del Marqués Nicolini, embajadores de Florencia, discípulos, amigos y protectores de Galileo, sino tambien por los testimonios del mismo Galileo y por la crítica de la historia imparcial, que en el fondo este filósofo no fué perseguido por *buen astrónomo,* sino por *mal teólogo,* pues habia querido mezclarse en explicar la Biblia, lo que solo compete á la autoridad de la Iglesia. De modo que, si Galileo persistiendo en su opinion hubiese defendido como *hipótesis* el movimiento de la tierra, como lo habia hecho Copérnico, sin entrar en discusiones de hermenéutica que no le pertenecian, el Tribunal de la Inquisicion no hubiera por cierto tomado parte en la persecucion que le armaron sus adversarios. En efecto, sabemos por la historia que antes de publicar en Florencia sus *Diálogos,* habiendo tenido en Roma una conferencia con el Cardenal Bellarmino, éste le aconsejó é insistió mucho, en nombre de la Santa Sede, en que no hablase más de la pretendida armonía entre la Biblia y Copérnico, sin que por esto renunciara á ninguna hipótesis astronómica. Pero Galileo, que mostró alguna sagacidad y viveza en sus *Diálogos,* no obró por cierto de buena fé, y esta fué la causa por la cual intervino en el asunto la Inquisicion Romana, la cual, permitiendo prudentemente defender el sistema como *hipótesis,* por las circunstancias de los

do Galileo su fórmula de retractacion, no pudo contenerse, y entre dientes dijo: "*eppur si muove*" [y sin embargo se mueve]: pero esto

---

tiempos tenia derecho de exigir que nadie presumiese interpretar la Sagrada Escritura, siendo esto propio y exclusivo de la Iglesia. Y aunque se admitiera por un instante que se habia procedido con excesivo rigor por parte de la Inquisicion, "Jamás, dice De Maistre, jamás la Iglesia reunida, jamás "los Papas como Jefes de la Iglesia han pronunciado una sola palabra, ni "contra el sistema de Copérnico en general, ni contra Galileo en particular. "Galileo fué condenado por la Inquisicion, es decir, por un Tribunal que po-"dia engañarse como cualquiera otro, y que se engañó realmente en el fondo "de la cuestion; pero Galileo cometió desaciertos con respecto al Tribunal, "y debió en fin á sus imprudencias multiplicadas una mortificacion, que hu-"biera podido evitar con la mayor facilidad, y sin comprometerse de ningu-"na manera. Tenemos los despachos del gran Duque en Roma que deplora "las sinrazones de Galileo. Si él se hubiera abstenido de escribir, como ha-"bia dado palabra, si no se hubiera obstinado en querer probar el sistema "de Copérnico por la Sagrada Escritura, si hubiese siquiera escrito en latin, "en lugar de calentar los ánimos en idioma vulgar, no le hubiera sucedido "nada. El año mismo que vió la condenacion de Galileo la Corte Romana, "no dejó medio alguno para que fuera á la Universidad de Bolonia el famoso "Kepler, el cual, no solamente habia abrazado la opinion de Galileo sobre el "movimiento de la tierra, sino que daba además un firme apoyo á esa opi-"nion por la autoridad de sus inmortales descubrimientos." De lo que se saca, cuán falso es que el Papa, ó un *conclave* de Cardenales, como ha afirmado algun autor, haya condenado á Galileo, y cuán falso es que el Papa y la Iglesia se opongan al adelanto de las ciencias. Rohrbacher refiere (Hist. univ. de l'Eglise, Tom. 25, lib. 87, pág. 359) y Tiraboschi ha demostrado en tres interesantes disertaciones que los Soberanos Pontífices, lejos de retardar el conocimiento del verdadero sistema del mundo, al contrario, lo han favorecido grandemente; y que durante dos siglos enteros, tres Papas y tres Cardenales sucesivamente sostuvieron, animaron y recompensaron, no solamente á Copérnico, sino tambien á diferentes astrónomos, sus precursores, más ó ménos felices que Galileo. De manera que "á la Iglesia Romana, son sus palabras, se debe en gran parte el verdadero conocimiento del sistema del mundo." Sabemos además que el mismo Urbano VIII celebró en versos los descubrimientos de Galileo, y un siglo despues, en 1737, se levantó en Roma un insigne monumento á su memoria en la Iglesia de Santa Cruz de Jerusalen. El Papa Benedicto XIV anuló la sentencia dada por la Inquisicion contra Galileo y contra la teoría del movimiento de la tierra; y lo que era una simple hipótesis, pasó á ser un hecho incontestable, contra el cual no hay argumento que valga.

En cuanto á la otra acusacion de que Galileo estuviera en el fondo de un calabozo, tenemos el testimonio de él mismo en una de sus cartas escrita el 10 de Febrero en que dice: "Llegué á Roma y fuí entregado á la cle-"mencia de la Inquisicion y del Soberano Pontífice Urbano VIII que tenia "alguna estimacion de mi persona; fuí puesto en arresto en el delicioso pala-"cio de la "*Trinitá dei monti*, morada del Embajador de Toscana, en donde "podia recibir visitas, y escribir á mis amigos." Despues de haber vivido allí cinco meses apenas, á principios de Diciembre de 1633, el Papa le dió permiso para poder residir en una casa de campo cerca de Florencia, y más tarde le fué tambien otorgado el quedarse en la ciudad, para no perjudicar á su achacosa salud.

no parece probable; ello hubiera sido para el ilustre sábio una grave imprudencia que lo habria expuesto al más severo castigo.

96. Al mismo tiempo que Galileo, el célebre astrónomo de Weil en Wurtemberg, Kepler volvió á discutir las teorías de Copérnico, y defendió á consecuencia de sus largos y profundos estudios, el sistema que admite la posicion central del sol, rechazando toda hipótesis de movimientos circulares y uniformes al rededor de un punto excéntrico ideal, y poniendo en olvido los deferentes y los epiciclos. A Kepler, pues, pertenece la gloria de haber decidido la cuestion con el célebre descubrimiento de las leyes que llevan su nombre. Para protegerse de toda crítica, y establecer este sistema como una verdad incontestable, ejecutó un número prodigioso de cálculos con infatigable perseverancia. Fundóse principalmente en las observaciones del planeta Marte, hechas por Tycho-Brahé con una exactitud admirable. Llegó á explicar todas las particularidades del movimiento de este planeta, y halló por fin las tres leyes que rigen el sistema solar, á saber: 1º que los planetas describen una órbita elíptica, uno de cuyos focos ocupa el sol: 2º que el tiempo empleado por un planeta en describir una porcion cualquiera de su órbita es proporcional á el área descrita en el mismo tiempo por el rádio vector: 3º que los cuadrados de los tiempos periódicos son proporcionales á los cubos de los grandes ejes. Obtuvo este resultado en 1618, despues de 22 años de contínuo estudio. De este modo reconoció la generalidad de la ley de atraccion y traslacion de los planetas al rededor del sol. Adivinó la existencia de planetas desconocidos en su tiempo, y pudo anunciar el paso de Mercurio y Venus por el disco solar para el año de 1631. La analogía con los otros planetas, mucho más grandes que nuestro globo, hace deducir que la Tierra misma gira tambien al rededor del sol. Ni sería admisible que, siendo el sol el centro de todos los planetas, la Tierra que es un cuerpo tan pequeño, tuviese al rededor de sí al mayor de todos. Especialmente despues que Newton recopiló las leyes de Kepler en el hecho de una fuerza de atraccion que obra en razon directa de la masa, é inversa del cuadrado de la distancia, no podia de ninguna manera sostenerse la quietud de la Tierra, sin admitir las ideas más absurdas con respecto á la naturaleza de las fuerzas de la creacion.

Sin embargo, no faltan pruebas directas de la traslacion de la Tierra al rededor del sol, que quitan toda duda sobre su movimiento. Estas se fundan en la composicion del movimiento de la luz con el de la Tierra misma, y en la desigual atraccion del sol sobre la materia elevada de nuestro globo. Trataremos de ellas en los párrafos siguientes.

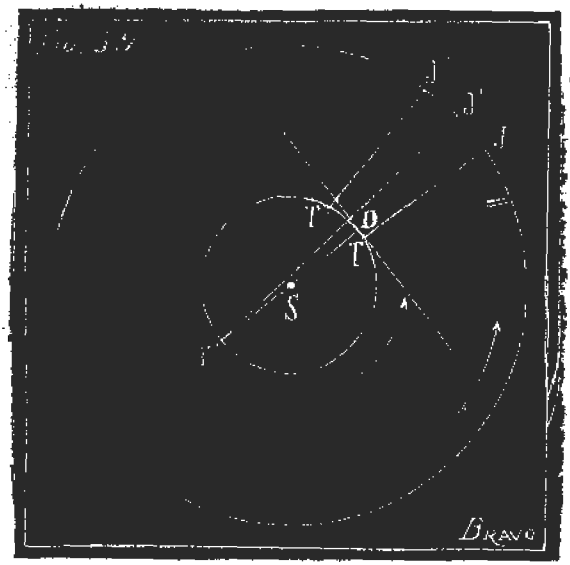
§ 2.

Aberracion de la luz.

97. Enseña la física que la luz consiste en un movimiento vibratorio de un fluido llamado *éter* esparcido por el universo, el cual tiene una propagacion sucesiva. Este descubrimiento fué hecho por Roemer, astrónomo dinamarqués, mientras estudiaba en 1675 las causas de algunas irregularidades, observadas en los movimientos de los satélites de Júpiter. Él y otros astrónomos habian notado que las épocas en que se observaba el principio ó el fin de los eclipses de dichos satélites, no estaban acordes con las indicaciones de las tablas construidas por Cassini, y fundadas en un gran número de observaciones. Así que se notaba un adelanto, cuando el planeta se hallaba cerca de la oposicion, es decir, cuando se hallaba la Tierra entre el planeta y el sol; y un atraso, cuando se acercaba el planeta á la conjuncion, ó sea, cuando el sol iba á encontrarse entre el planeta y la Tierra. Esta variacion no podia derivarse sino de la diferencia de distancias entre Júpiter y la Tierra, y por lo tanto, Roemer atribuyó el fenómeno á la diferencia de tiempo empleado por la luz en atravesar esa diferencia de distancias, que constituye el diámetro de la órbita terrestre. Supongamos que se observe un eclipse del satélite [1] más cercano al planeta, cuando éste se halle cerca de una oposicion, ó sea, estando Júpiter en J [fig. 59] y la Tierra en T; despues obsérvese otro cerca de la conjuncion cuando la tierra pasa á T′, hallándose Júpiter en J′, y finalmente cuando vuelva Júpiter á la oposicion en J″, estando la tierra en T″: necesario es suponer que el satélite haya dado el mismo número de vueltas al rededor del planeta en el primero y en el segundo intervalo de tiempo. Si se consideran las posiciones T y T″, pues que la distancia de la tierra al planeta es sensiblemente igual,

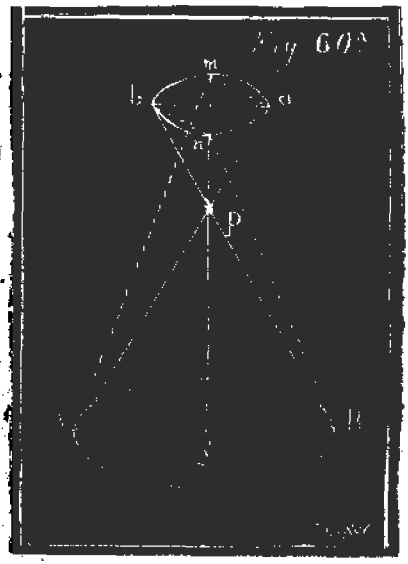
(1) Se entiende por eclipse de un satélite, el sumergirse este en el cono sombrío que proyecta el planeta. El instante en que penetra en la sombra se llama *inmersion*, y el en que sale *emersion*. La observacion de dichos eclipses no puede tener lugar, cuando el cono sombrío del planeta está ocultado por el mismo disco, es decir, en la época misma de la conjuncion, ó en la de la oposicion. La *inmersion* es visible cuando el planeta pasa de la conjuncion á la oposicion, mientras que la *emersion* puede observarse desde la oposicion hasta la conjuncion.

resulta que los intervalos entre dos inmersiones consecutivas del satélite son constantes, es decir, se verifican en un tiempo sensiblemente igual, por describir la tierra una tangente que no hace variar la distancia al planeta. Pero si se relacionan las observaciones con el fenómeno calculado, cuando el observador pasa de T á T′, se echa de ver un retraso de 16ᵐ, 36″ con respecto á las tablas, mientras que en el paso de T′ á T″ se observa un adelanto de 16ᵐ, 36″. Pues que esto tan solo puede depender de la diferencia de distancia de la tierra al planeta, es preciso concluir que la luz del sol reflejada por el satélite emplea 16ᵐ, 36″ en recorrer la distancia TT′, es decir, el diámetro de la órbita terrestre: por tanto la luz solar necesita 8ᵐ, 18″ para llegar del sol á la tierra. De lo que se deduce que la luz tiene una velocidad aproximada de 75.000 leguas por segundo, ó sea de 300.000 kilómetros, á saber, 50.000 veces mayor que la velocidad del sonido en los metales más densos.

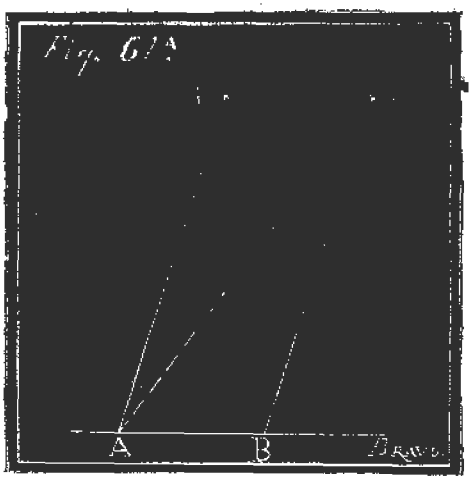


98. Puesto esto, veamos cómo por la propagacion sucesiva de la luz se prueba el movimiento de traslacion de la Tierra. En la época en que los astrónomos buscaban argumentos y pruebas para asegurarse de dicho movimiento, creian poderlos hallar en la paralaje de las estrellas. Las primeras tentativas que hizo Galileo fueron inútiles, á causa de la imperfeccion de los instrumentos, y sólo pudo concluir que las estrellas estaban tan lejos, que su paralaje era nula ó insignificante. Perfeccionados los instrumentos, varios astrónomos advirtieron que la estrella polar manifestaba un movimiento anual hasta entonces desconocido. Esto dió motivo para creer que fuera efecto de la paralaje; pero las observaciones más exactas que se hicieron posteriormente, dieron á conocer que este movimiento estaba sujeto

á ciertas leyes especiales que no eran las de la paralaje. Así por ejemplo, una estrella situada en el polo de la eclíptica en P [fig. 60], mientras la tierra estuviere en A, por efecto de la paralaje hubiera debido verse en *a* y pasando la tierra á B debería la estrella verse en *b;* pero en el primer caso se veia en *m*, y en el segundo en *n*, es decir, nó segun el plano que pasa por el sol, sino segun un plano perpendicular á él, ó sea, segun la tangente de la órbita terrestre. Además, las estrellas principales que se habian observado, por este fenómeno hubieran tenido casi todas la misma paralaje, y era muy improbable que todas se hallaran á la misma distancia de la Tierra.



99. Bradley habiendo empezado sus observaciones en 1725 y combinándolas con asiduidad sobre la estrella γ del Dragon que se halla cerca del polo de la eclíptica, dió al fin con la verdadera explicacion, deduciéndola de la composicion de la trasmision de la luz con el movimiento del observador en el espacio. A este fenómeno se ha dado el nombre de *aberracion de la luz:* darémos de él una breve explicación. Sea E [fig. 61] el lugar de la estrella cuya luz se trasmite al observador en A segun la línea EA. Por lo que hemos dicho, el observador, en lugar de ver á la estrella en el punto E, la vé en E′ segun la línea AE′; por lo

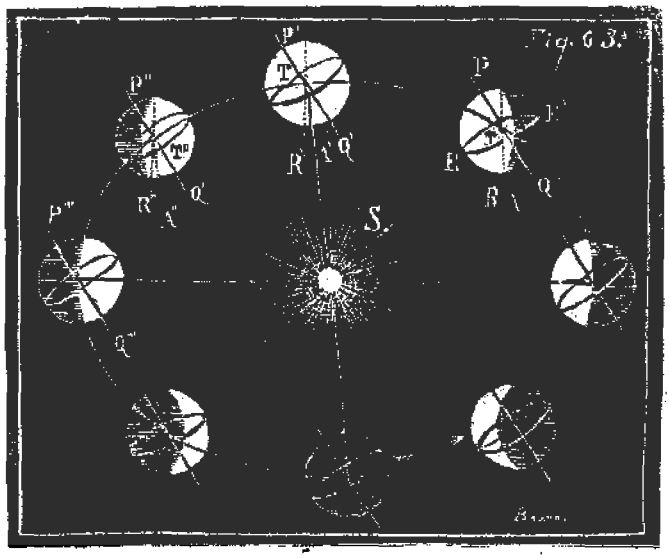


tanto, la recta AE′, siendo diferente de la AE, no puede representar sino una resultante de dos movimientos, uno de los cuales es la trasmision de la luz representada por la recta EA, y el otro el que exprese la traslacion aparente de la estrella E hácia E′, es decir, un arco del todo igual al arco EE′, tomado en el punto A en donde se halle el observador. Como se vé, este arco no puede ser otro que el arco AB, el cual manifiesta claramente la traslacion del observador de A hácia B; por lo tanto, la desviacion aparente de la estrella, ó sea, la aberracion de la luz, pone en claro el movimiento de la Tierra en el espacio. Este fenómeno es análogo al que se verifica, cuando alguno que camina en carruaje, es mojado por la lluvia; aunque esta caiga verticalmente, le parece que cae oblícua viniéndole de frente. Por esta desviacion del rayo visual, una estrella que esté en el polo de la eclíptica, parecerá describir una elipse, ó casi un círculo que representa la órbita terrestre, pero variando siempre segun la tangente de la misma órbita; para otras estrellas que se hallan fuera del polo de la eclíptica, la proyeccion de la órbita terrestre tomará la forma de una elipse más ó ménos excéntrica, segun la menor ó mayor distancia de dicho polo. Si la estrella está en el mismo plano de la eclíptica, parecerá describir una línea recta. La fig. 62 dá una idea de los tres casos en que puede hallarse una estrella con respecto á la distancia del polo de la eclíptica. S es una estrella en el mismo polo, S′ á 45° de latitud, S″ en el plano mismo de la órbita terrestre. Ahora bien, como la velocidad de la luz es por lo ménos 10.000 veces mayor que la velocidad de traslacion de la Tierra, el ángulo de desviacion es muy pequeño [1], y no pasa de 20″, 45, igual al que daria la velocidad de la luz, deducida de los eclipses de los satélites de Júpiter.

100. Quedando probado que la Tierra tiene un movimiento de

(1) La luz recorre casi 300.000$^{kil.}$ por segundo, y la tierra 30$^{kil.}$,8 en término medio.

traslacion en el espacio al rededor del sol describiendo una elipse segun las leyes de Kepler, es fácil formarse una idea de las posiciones que ella toma sucesivamente en el espacio durante un año. Sea S el sol [fig. 63], T la Tierra en una posicion cualquiera. El eje de



rotacion PQ se dirige de modo que forma un ángulo de 23,°28′ con la perpendicular TR al plano de la órbita terrestre, ó sea, de la eclíptica. El plano del Ecuador EE′ corta al plano de la eclíptica segun una línea recta TA ó T′A′ que se llama línea de los equinoccios. Mientras el centro de la Tierra T recorre la elipse, el eje PQ toma sucesivamente las posiciones P′Q′, P″Q″, P‴Q‴ etc. quedando siempre sensiblemente paralelo á sí mismo, trasladándose al mismo tiempo la línea de los equinoccios, sin cambiar sensiblemente de direccion. Estando el sol en el foco de la elipse, ilumina y calienta en un tiempo determinado la mitad de la Tierra que está vuelta hácia él; de aquí nace la variacion del dia y de la noche, pues girando la Tierra al rededor de su eje, presenta al sol sucesivamente sus diferentes meridianos. Pero por la oblicuidad del eje PQ, uno de los polos está vuelto al lado del sol, mientras que el otro está al lado opuesto; resulta, pues, que de las dos regiones polares, una será iluminada y calentada por el sol, al mismo tiempo que la otra queda en la sombra y privada de los rayos caloríficos, hasta que la línea de los equinoccios TA tome la posicion T′A′, pasando por el centro

del sol. Desde este punto para adelante, se verificará el mismo fenómeno en sentido contrario; y como para que la Tierra pase de la posicion T' que es el equinoccio de Libra á la posicion T^v, equinoccio de Aries emplea seis meses, y otros seis meses emplea para volver al primer equinoccio, es claro que uno de los polos será iluminado contínuamente por el espacio de seis meses, mientras que el otro estará en la sombra durante dicho tiempo. Así habrá en las regiones polares una alternativa de dias y noches que duran cada una seis meses, ó más bien, en un año no hay más que un dia y una noche. En cuanto á las otras latitudes veremos despues lo que se verifica, cuando se trate del movimiento aparente del sol y de la desigualdad de las estaciones. [Lib. III § 4]. (1).

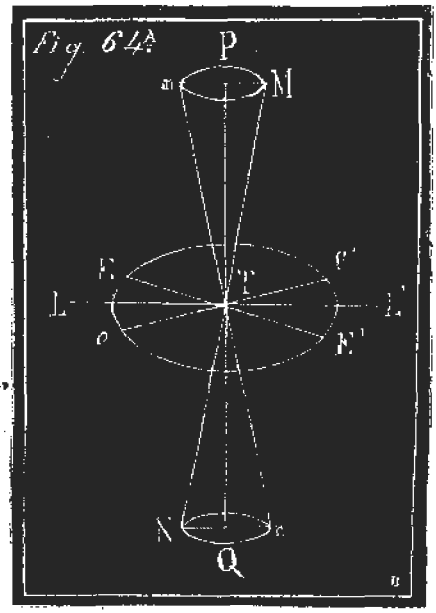
§ 3.

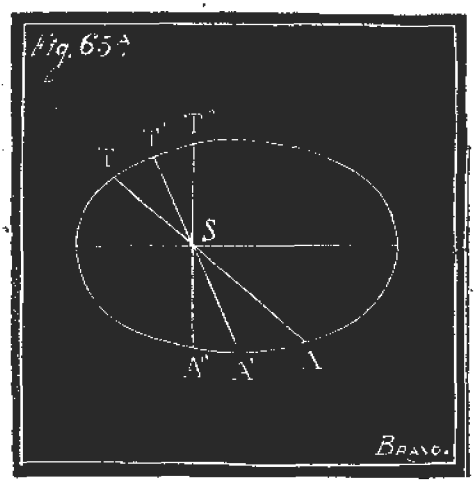
Precesion.

101. Aunque el eje de la tierra conserva la misma posicion en el espacio durante el curso de un año, como hemos dicho anteriormente, sin embargo su paralelismo no es tan riguroso que no sufra alguna variacion. Si se comparan las posiciones del eje en dos épocas muy distantes entre sí, se reconoce un cambio muy notable; hé aquí en qué consiste el fenómeno. Mientras la Tierra gira al rededor de sí misma, teniendo la línea de los polos una inclinacion de 66°,32' sobre el plano de la órbita, describe, con un movimiento muy lento, dos conos cuyos vértices coinciden en el centro de la Tierra, y cuyas bases son dos círculos descritos al rededor de los polos de la eclíptica. Fácilmente se comprenderá este movimiento, comparándolo con el de un trompo que gira al rededor de su eje. En virtud de la rotacion, el eje toma una posicion oblícua al rededor de la vertical, que pasa por su punto de apoyo; y mientras gira el trompo al rededor del eje, éste vá dando vuelta al rededor de la vertical y conservando la misma oblicuidad, describe con su extremidad un círculo, que es la de base un cono, cuyo eje es la misma vertical que pasa

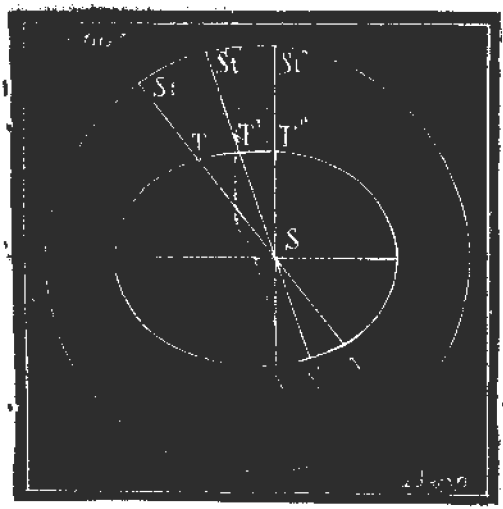
(1) Recorriendo la tierra su órbita al rededor del sol, lleva una velocidad extraordinaria; pues el centro de la tierra en el espacio recorre 30^kil., 8 por segundo, ó sea, un poco más de 100.000 kil. por hora; la tierra, pues, recorre el espacio con una velocidad 60 veces mayor que la de una bala de cañon. En cuanto á la velocidad de rotacion, teniendo un punto cualquiera del ecuador que recorrer en 24^h los 40.000^kil. de su circunferencia, recorrerá en un segundo 463^m, y por lo tanto será trasladada en el mismo tiempo á una distancia de 30.000^kil. es decir que el movimiento de translacion comunica á dicho punto ecuatorial una velocidad 64 veces mayor, variable sin embargo del apogéo al perigéo y vice versa. La tierra en su largo trayecto recorre en 365^j, 6^h, una distancia de 946,000.000 de kil.

por el punto de apoyo. Sea T la Tierra (fig. 64), LL′ la eclíptica, la línea MN de los polos toma sucesivamente diferentes posiciones, describiendo al rededor de la vertical PQ, que es el eje de la eclíptica, los círculos M*m*, N*n*. A este cambio de posicion del eje de la Tierra, corresponde una variacion análoga de la línea equinoccial y por lo tanto del mismo círculo ecuatorial, que tomará las posiciones EE′, *ee*′. De aquí resulta que la interseccion del círculo ecuatorial ó de la línea equinoccial con la órbita terrestre no cae siempre en el mismo punto, y de consiguiente el equinoccio no se verifica siempre en el mismo lugar del zodiaco, sino que varía sucesivamente, hasta recorrer toda la circunferencia de la órbita terrestre. Variando el punto equinoccial, debe necesariamente variar el principio de las estaciones en el curso de un año. Así si empieza en un año la primavera estando la línea de los equinoccios en la posicion TA que pasa por el sol S [fig. 65], y la Tierra en T, al año siguiente empezará cuando la tierra esté en T′ y la misma línea se halle en la posicion T′A′, pues entonces pasa por el sol la línea equinoccial. Al año siguiente la primavera principiará, cuando la línea equinoccial haya tomado la posicion T″A″, estando la tierra en T″ y así sucesivamente. La época, pues, del





equinoccio de primavera, precede de este modo á la que deberia tener lugar, si el eje de la Tierra no tuviese movimiento alguno particular; por esto á dicha variacion se ha dado el nombre *precesion de los equinoccios*. Si se compara este movimiento de precesion con la posicion de las estrellas, se verificará el fenómeno en sentido inverso. Hiparco, comparando las posiciones de la estrella α de la Vírgen, observadas por otros astrónomos anteriores, con las suyas, halló que el punto equinoccial tenia con relacion al órden de los signos, un movimiento retrógrado equivalente á unos 40″ por año. Para formarse una idea de lo que aparentemente podria presentar una contradiccion, sea T [fig. 66] la posicion de la Tierra en un equinoccio, y TA la direccion de la línea equinoccial que pasa por el Sol S. En este caso la estrella S_1, con la cual se compara la posicion de la tierra, se halla en la prolongacion de la línea equinoccial TA; al año siguiente, verificándose el equinoccio cuando la línea equinoccial toma la posicion T′A′, debiendo pasar por el sol, puesto que esta precede á la posicion T de la tierra del año anterior, con relacion á la estrella S_1 se encuentra atrasada. Como la prolongacion de la línea equinoccial, en esta segunda posicion en que se verifica el equinoccio, vá á dar á otra estrella S_1', que se halla atrás con relacion á la primera, es claro que el equinoccio retrocede con respecto á dicha estrella, faltándole todavía que recorrer todo el arco T′T, para que la estrella S_1 se halle en la prolongacion de la línea equinoccial; de modo que siendo diferente la posicion del equinoccio cada año, y verificándose ántes que el año anterior, con relacion, sin embargo, á la primera estrella S_1 vá retrocediendo siempre más y más; de aquí es, que el mismo fenómeno lleva dos nombres en apariencia contradictorios de *precesion* y *retrogradacion*.



102. Aunque Hiparco halló para este movimiento la cantidad de 40″ por año, sin embargo, las observaciones posteriores más exactas

le han dado el valor de 50″25 por año. Así, la estrella α de la Virgen, el año 171 antes de Jesucristo,

tenia una longitud	= 174°,07′,30″
en 1802 su longitud era	= 201, 04′.41
luego su diferencia es	= 26, 57, 11

la cual dividida por 1973 que es el número de años trascurridos, dá por valor medio del movimiento equinoccial 50″,25. El giro entero del equinoccio de Aries, como el del polo en el círculo que hemos dicho, se efectúa en el espacio de cerca de 25,000 años. De este movimiento se sigue que, refiriéndose la posicion de las estrellas al equinoccio y al polo, las coordenadas celestes son variables con el tiempo. Si embargo, para evitar toda confusion, los astrónomos, para los cálculos de los movimientos de los cuerpos celestes, han convenido en tomar como eclíptica fija la de 1750, época en que se empezaron las observaciones más exactas, primero por Bradley, y despues por los otros. Es de advertir que el punto equinoccial no ha dejado de llevar el nombre de equinoccio de Aries, aunque por la precesion se halle al presente en la constelacion de los Peces.

§ 4.

Nutacion.

103. Hemos dicho en el párrafo anterior que el eje de la Tierra, moviéndose lentamente, describe un cono al rededor de la eclíptica, lo que constituye la precesion de los equinoccios. Ahora bien, este movimiento no se verifica exactamente segun una circunferencia bien definida, sino que es alterado por una pequeña vibracion, á la cual se ha dado el nombre de *Nutacion*. He aquí en qué consiste. Habiendo Bradley descubierto la aberracion de la luz, continuó sus estudios sobre los movimientos de los astros, y fijándose particularmente en la estrella γ del Dragon, advirtió desde 1727 que poco á poco iba acercándose al polo; pero en 1736 observó que iba retrocediendo una cantidad igual á la que habia notado, cuando se acercaba, y dedujo ser de 9 años el semiperiodo. Habiendo notado que el mismo fenómeno se verificaba en otras estrellas, quiso manifestarlo al astrónomo francés Lemonier, rogándole que observara, al mismo tiempo que él, la segunda mitad del periodo. Verificóse la prediccion de Bradley, y no hubo más que admitir la realidad del fenómeno.

104. El modo de explicarlo más sencillamente fué, reconocer un movimiento circular del polo verdadero al rededor del polo medio de la tierra. [1]. Segun este movimiento, el círculo descrito en la esfera celeste por la extremidad del eje del mundo, es más bien una epicicloide descrita al rededor del polo de la eclíptica. La forma de dicha curva está representada en la fig. 67. Los pequeños círculos, cuyo centro seria lo que hemos llamado polo medio, no tendrian un radio mayor de 9″,6, cuya cantidad dá en su valor máximo el aumento y la disminucion, que sufren las estrellas en su declinacion y ascension recta.

105. La oblicuidad de la eclíptica sufre tambien una variacion de 0″,5 por año, cantidad, que, sin embargo, no es indefinida sino periódica, pudiendo llegar hasta 1°. En tiempo de Tchou-Kong, es decir, 1.100 años antes de Jesucristo era 23°,54′,3″, y en tiempo de los Árabes, 827 años despues de Jesucristo era 23°33′52″: y en 1881 habia llegado á ser 23°27′17″07. [2]. Esta disminucion, sin embargo, no es indefinida como he dicho, pues de la teoría de la gravitacion universal, se deduce, que volverá á aumentar de aquí á pocos siglos, para seguir su periodo retrocediendo.

106. Otras pequeñas variaciones á que está sujeto el eje de la Tierra, dependen de las revoluciones anuales ó mensuales del Sol y de la Luna, las cuales, por ser muy pequeñas, fácilmente se desprecian; ni han podido descubrirse sino por medio del cálculo y de la teoría. Existiendo los varios movimientos que hemos dicho, nos falta ahora averiguar la causa que los produce. El resultado de las observaciones y del cálculo, dá á conocer que dependen únicamente de la atraccion que ejercen sobre la tierra el Sol y la Luna, como lo veremos en el párrafo siguiente.

---

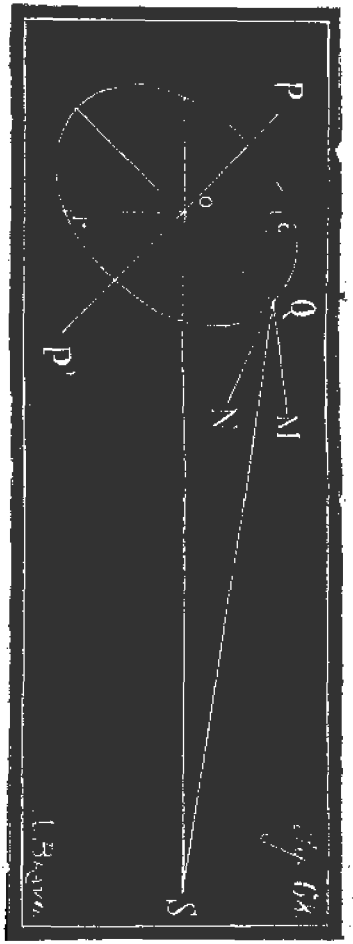
(1) Se entiende aquí por polo medio la extremidad del eje del mundo, la cual deberia describir la circunferencia de la base del cono debido á la precesion de los equinoccios, si no tuviera lugar la nutacion.

[2] La disminucion media anual es 0″,476. (Le Verrier, Tablas Solares, pág. 203).

§ 5.

Causas de la precesion y nutacion.

107. Por las observaciones se reconoce que permaneciendo sensiblemente invariables las latitudes de las estrellas, varian, sin embargo, las ascensiones rectas y las declinaciones. Este hecho demuestra que, el movimiento de precesion no es debido á la eclíptica, sino al ecuador. Tratemos de explicar el fenómeno. La atraccion que se ejerce sobre un cuerpo perfectamente esférico, debe ser necesariamente igual en todas sus partes y se dirige al centro. Ahora bien; siendo la tierra un esferoide, no pueden sus partes ser igualmente atraidas por el sol, como se verificaria en el caso de una esfera. La posicion del sol con respecto á la parte elevada del ecuador, produce una alteracion sensible en la fuerza atractiva, la cual no puede ménos de influir en la oscilacion del eje de la tierra. Para comprenderlo fácilmente, supongamos al sol en S [fig. 68] y sea Q un punto de la masa ecuatorial elevada; la accion del sol, dirigida segun la recta SQ, tiende á hacer bajar al ecuador segun la componente QN sobre el plano de la órbita terrestre OS, y si la tierra estuviese fija, pronto la reduciria á coincidir con dicho plano girando al rededor de O*r*. Pero estando el ecuador en movimiento de rotacion, deberá este movimiento componerse con la nueva rotacion al rededor de la recta O*r*; es decir, el plano del ecuador seguirá la direccion QM, que es la resultante de los dos movimientos. Ahora bien, como esta accion del sol persiste siempre sobre la masa ecuatorial,



y variando por otra parte la posicion del Ecuador con respecto al sol, pues la inclinacion del eje terrestre es causa de que el sol se halle ya á un lado, ya al otro del ecuador, resulta que la fuerza de atraccion del sol sobre la misma masa ecuatorial no es siempre la misma, y por lo tanto, el efecto será producir un movimiento cónico en el plano ecuatorial, y de consiguiente en el eje de la Tierra al rededor de la vertical. De este modo la interseccion equinoccial con la eclíptica no podrá verificarse siempre en el mismo punto, sino que irá recorriendo aunque lentamente, todos los puntos sucesivos de la eclíptica. Claro está que la fuerza máxima que ejerce el sol sobre la masa del ecuador, se verifica cuando éste se halla en su declinacion máxima, es decir, en Diciembre y Junio; siendo nula en los equinoccios opuestos, es decir, en Marzo y Setiembre.

108. A esta accion del sol se añade tambien la atraccion de la Luna, la cual puede aumentar, disminuir ó equilibrar la atraccion solar, segun la posicion de la misma Luna con respecto al sol y á la Tierra. En cuanto á la nutacion, hallándose ésta en conexion con la retrogradacion del *nodo* de la órbita lunar, Bradley supuso que podia explicarse por el movimiento de dicho nodo; mas de esto hablaremos tratando de la Luna.

CAPITULO IV.

§ 1.

De la Atmósfera.

109. La atmósfera es una capa gaseosa que envuelve en toda su extension al globo terrestre, y sus moléculas están sujetas y obedecen, como cualquier otro cuerpo, á la fuerza de gravedad: por lo tanto, tienen con la tierra un movimiento comun de rotacion. Siendo la atmósfera un fluido elástico, cede más fácilmente á la fuerza centrífuga y su forma esferoidal es más pronunciada áun, que la de la misma tierra. La atmósfera, ó el aire, produce importantísimos efectos en todos los cuerpos que existen sobre la superficie terrestre. Á más de ser necesaria para la respiracion, la atmósfera conserva las aguas en estado líquido, influye en la vegetacion de las plantas, absorbe los rayos caloríficos del sol, refleja y difunde los luminosos. Sin la atmósfera no habria vida, y la tierra no seria más que una masa sólida, árida y desierta, como veremos despues que lo es la luna su satélite. De alguna de estas propiedades por cuanto se relacionan con la cosmografía, vamos á tratar en los párrafos siguientes.

§ 2.

Luz difusa y centelleo.

110. Se sabe por la Física, que las moléculas del aire, tienen, como cualquiera otro cuerpo trasparente y pulimentado en su superficie, la propiedad de refractar y reflejar los rayos luminosos que reciben del sol. Destinando un párrafo aparte para hablar de la refraccion, trataremos aquí de la reflexion. Siguiendo esta las leyes á que está sujeta, se verifica en las moléculas del aire, como en los cuerpos de superficie convexa; y como dichas moléculas tienen diferente posicion en el espacio, se sigue que, los rayos incidentes de una molécula reflejándose mútuamente en las otras que se hallan al rededor, los rayos luminosos dirigidos en todo sentido son esparcidos por todas partes en la atmósfera. De aquí nace el que puedan verse los objetos áun en los puntos á donde no llegan directamente los rayos del sol: esto es lo que constituye la luz difusa. Si nos elevásemos á una altura suficiente sobre el suelo en un globo aereostático, observaríamos que, disminuyendo la densidad del aire, disminuye tambien la cantidad de luz difusa, y el color azul del cielo se haria más y más intenso, hasta llegar al negro, donde el aire está muy enrarecido. Esto puede dar razon de porqué las estrellas se ven solo de noche y desaparecen durante el dia. La luz de las estrellas es muy escasa, en comparacion de la gran cantidad de luz solar difundida de dia por la atmósfera, siendo aquella, en cierto modo, absorbida y atenuada por esta, mientras que en la noche proyectándose sobre un fondo oscuro, la luz estelar se hace visible. Aun podrian verse las estrellas de dia, si se las observara con un anteojo de tubo largo, cuyas paredes interiores estuvieran ennegrecidas; y lo propio aconteceria, si se las viera desde la profundidad de un pozo.

111. A la atmósfera se debe tambien el fenómeno del centelleo. Este consiste en un aparecer y desaparecer rápido de las estrellas, de modo que nunca se las vé fijas en un punto, ni conservan el mismo color, y parece que se hallan en un contínuo movimiento. Dicho fenómeno se verifica especialmente en los astros que se hallan cerca del horizonte, y es mucho más pronunciado cuando la atmósfera está agitada. Arago explica el hecho por la interferencia [1] de los

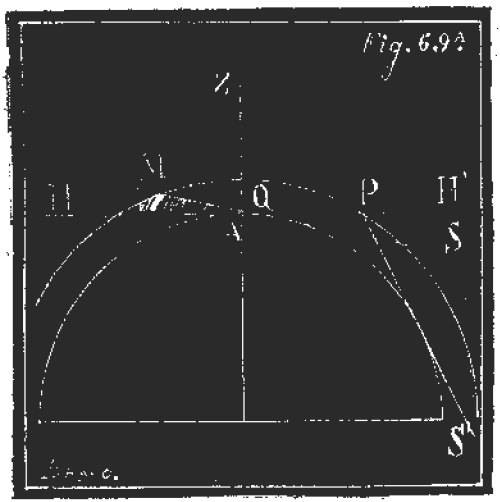
(1) Llámase interferencia en física, la accion mútua que ejercen entre sí dos rayos luminosos emitidos de un mismo foco de luz, cuando se encuentran bajo un ángulo muy pequeño. Si por dos pequeños orificios de igual diámetro se dá paso en una cámara oscura á dos haces de luz homogénea y se reciben sobre un carton blanco más allá de su punto de encuentro, se observan

rayos luminosos al atravesar la atmósfera. Esta explicacion es la única que dá razon de porqué las estrellas centellean y no los planetas, porqué no todas centellean del mismo modo y porqué se verifica el fenómeno más vivamente en una atmósfera más agitada; mientras que las otras explicaciones, dadas por varios físicos, no son muy adecuadas, ni resuelven completamente las dificultades que se oponen.

§ 3.

Crepúsculo.

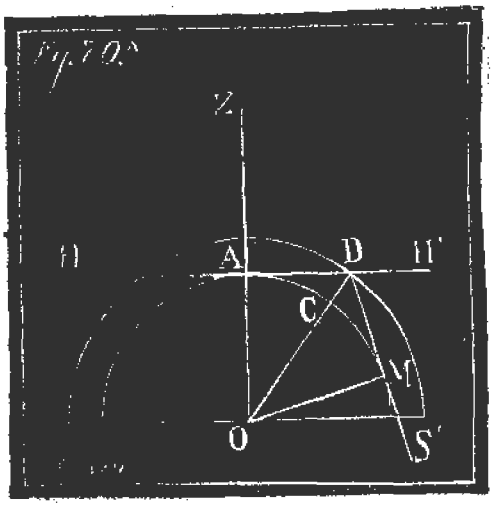
112. Llámase crepúsculo aquella luz que poco á poco vá disminuyendo en el cielo desde el ocaso del sol hasta oscurecerse, y la que vá aumentando así mismo antes de la salida del sol. La primera se observa al poniente al caer de la tarde, y la segunda al oriente al amanecer. Este fenómeno se debe tambien á la atmósfera. Sea A el punto de tangencia en donde se halla el observador, y HH′ su horizonte [fig. 69]. Hallándose el sol en S debajo del horizonte, sus rayos iluminan todavía la parte de la atmósfera PQM sobre el horizonte, y por tanto el observador la verá luminosa, mientras que no alcanzando los rayos luminosos á la parte HQM, ésta se verá oscura. Continuando el sol su marcha debajo del horizonte, la parte iluminada irá disminuyendo en tanto que vá aumentando la oscura, hasta que el sol haya llegado á 18° en el círculo de altura debajo del horizonte en



en el segmento comun á los dos discos, franjas muy oscuras y alternadas de blanco y negro, si la luz es blanca, de rojo y negro, si es roja, etc. Pero si se cierra una abertura, desaparecen las franjas, y son reemplazadas por una luz blanca ó rojiza casi uniforme. De esto se deduce que las franjas oscuras dependen del encuentro de los dos haces que se cruzan oblicuamente. Las moléculas del aire pueden producir este mismo efecto, por la diferente direccion que toman los rayos reflejados, y que por lo tanto se cruzan.

S′, es decir, cuando la direccion del rayo luminoso S′P corte á la línea horizontal en el punto P, límite de la atmósfera. Lo propio se verifica por la mañana en sentido inverso, y esto es lo que propiamente se llama *aurora*. La duracion del fenómeno depende de la latitud del lugar y de la declinacion del sol, pues el círculo diurno descrito por el sol, fuera del ecuador, es tanto más oblícuo al horizonte, cuanto mayor es la latitud, y mayor tiempo necesita el sol para describir la hipotenusa del triángulo correspondiente á 18° en el círculo de altura. En el ecuador la duracion del crepúsculo y de la aurora es 1ʰ, 12ᵐ, pues el círculo del movimiento diurno es siempre perpendicular al horizonte. A una latitud de 48° siendo la declinacion del sol 23°,27′, el crepúsculo de la tarde se junta con el principio de la aurora, de modo que no hay noche perfectamente oscura.

113. Por medio del crepúsculo es fácil averiguar aproximadamente la altura de la atmósfera. Sea HH′ [fig. 70] el horizonte, DS′ la dirección del rayo solar tangente al globo terrestre y que llega hasta D en el horizonte del observador colocado en A. Estando el punto D en los límites de la atmósfera, cuya altura es CD, es evidente que la altura del sol en este caso, representada por el ángulo que el rayo luminoso forma con el horizonte del lugar, es 18°; resulta pues:



$$H'DS' = 18^\circ = AOM = 2AOC$$

Por otra parte la trigonometría nos dá (llamando R al radio terrestre)

$$\sec. AOC = \sec. 9^\circ = \frac{OD}{R} \qquad (r)$$

Además $CD = OD - OC = OD - R$ (r′)

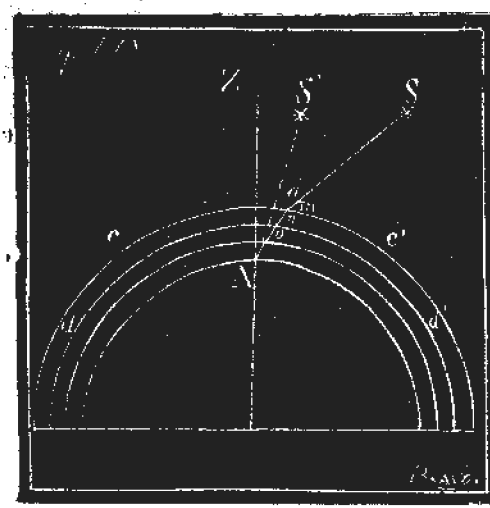
Sustituyendo en [r′] el valor de OD sacado de la fórmula [r] será: $CD = R, \sec. 9^\circ - R = (\sec. 9^\circ - 1)\, R = 0{,}012\, R = 0^{m}{,}012 \times 6{,}366{,}778^{m}$. Corrigiendo este cálculo de la refraccion atmosférica, resulta para la atmósfera una altura de 60 kil. aproximadamente. Aunque este cálculo sea exacto, sin embargo, como no está bien definido el

punto D, límite del crepúsculo, la altura CD de la atmósfera será tan solo aproximada. Veremos al tratar de las estrellas fugaces, que observaciones más directas dan una altura casi doble de la hallada por este cálculo.

§ 4.

Refraccion atmosférica.

114. Suponiendo conocido lo que enseña la física sobre la refraccion, aquí no haremos más que aplicar sus leyes á la atmósfera. Podemos considerar á la atmósfera como formada de muchas capas una encima de otra, cuya densidad vá disminuyendo de la superficie hasta las altas regiones: cada una de estas capas, aunque podemos considerarlas homogéneas en su espesor, representa un medio de diferente densidad con respecto á las que le están cercanas. Esto supuesto, sabemos que si un rayo luminoso, atravesando un medio cualquiera homogéneo, penetra en otro más denso, se desvía de su direccion primitiva acercándose á la normal de la superficie de dicho medio. Ahora bien, sea S [fig. 71] un punto luminoso, cuyo rayo S*a* se dirija á la primera capa atmosférica *cc'*, se refractará tomando la direccion *mn*, en el punto *n*, penetrando en la segunda capa *dd'* más densa que la primera, sufrirá una segunda desviacion acercándose á la normal y tomando la direccion *no*. En el punto *o* vuelve á refractarse dirigiéndose al punto A, en donde se halla el observador. Como la sensacion producida en el observador depende de la direccion del rayo luminoso, en el momento en que penetra en su ojo, éste verá el punto luminoso S en la prolongacion de esta última direccion A*o*, y por tanto, para dicho observador el punto luminoso S será visto en S'. El ángulo formado en A por el rayo SA y la prolongacion del



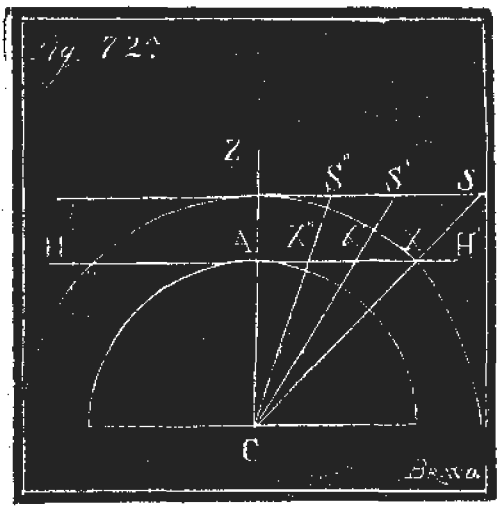
último elemento AoS′ se llama ángulo de refraccion atmosférica. Si ahora comparamos la posicion verdadera del punto luminoso S, y la aparente del punto S′ con el zenit veremos claramente que el efecto *producido por la refraccion atmosférica es elevar los astros sobre el* horizonte en el mismo círculo de altura. Siendo esto así, para fijar con exactitud la posicion de un astro en la esfera celeste, es preciso corregir las observaciones de altura ó las distancias zenitales en una cantidad igual al ángulo de refraccion. Este ángulo no es siempre el mismo en los diversos grados de altura, sino que está sujeto á las cuatro leyes siguientes:

1ª La refraccion en el zenit es nula, pues el rayo luminoso, atravesando normalmente todas las capas atmosféricas, coincide con las mismas normales de cada una de las capas.

2ª Desde el zenit al horizonte, la refraccion vá aumentando siempre, siendo máxima en el mismo horizonte, en donde es = 33′,46″.

3ª La refraccion crece sensiblemente, así como la tangente de la distancia angular aparente del astro que parte del zenit.

Para entender esta ley, *creo necesario aclarar lo siguiente.* Sea A [fig. 72] el punto en donde se halla el observador y HH′ su horizonte. Sea S la posicion de un astro sobre el horizonte, la secante CX que pasa por el astro, forma con la vertical CZ el ángulo ZCX, que es la distancia zenital, ó la distancia angular del astro con relacion al zenit. La tangente que mide ese ángulo, está representada por la recta ZS. Si el astro se eleva sobre el horizonte y pasa á un punto S′, la secante CX′ tendrá por tangente correspondiente á la distancia angular del astro, la recta ZS′. Si el astro se acerca al zenit y pasa á S″, á la secante CX′ *corresponderá la tangente ZS″. Claro está que cuanto más se acerca* al zenit el sol, ó un astro cualquiera, su distancia angular con respecto al zenit irá disminuyendo; por tanto, disminuirá tambien la tangente que le corresponde. Así, si el astro se aleja del zenit, cuan-



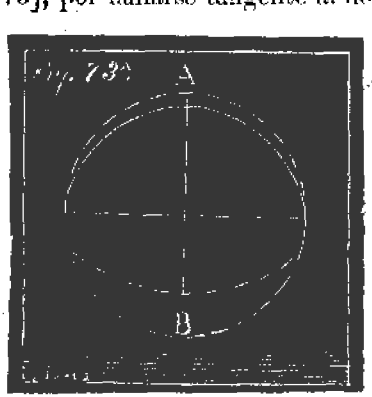
to más se acerca al horizonte, más aumenta la distancia angular, y de consiguiente su tangente. Ahora, el valor de la refraccion, pues que depende de la mayor ó menor distancia angular del astro sobre el horizonte, tendrá por medida la tangente que le corresponde; y de aquí la ley anunciada.

4ª El valor medio de la refraccion, para un astro situado á igual distancia del zenit y del horizonte, es casi = 1′, ó más exactamente = 58″,2.

De ser el ángulo máximo de refraccion en el horizonte = 33′,46″ se sigue, que el Sol y la Luna, cuyo diámetro aparente subtende un ángulo poco menor, puedan verse todavia aunque estén debajo del horizonte en una cantidad igual: luego la refraccion retarda aparentemente la puesta del sol, y acelera su salida en 2ᵐ á 3ᵐ lo que equivale á alargar los dias y acortar las noches en 4ᵐ á 6ᵐ.

Desde el horizonte disminuye rápidamente la refraccion hasta los 85°, en donde no es más que 9′,54″, y á los 45° llega á ser solo 58″,2, como hemos dicho.

115. La refraccion no solo eleva los astros sobre el horizonte, sino que tambien les hace sufrir un cambio en su forma cuando se trata de aquellos que tienen diámetro aparente como el Sol y la Luna; y tanto más, cuanto estos miden un ángulo casi igual al de refraccion. Dicha deformacion depende de la diferencia del valor de la refraccion á medida que el astro más y más se acerca al horizonte. Así el borde inferior del sol B [fig. 73], por hallarse tangente al horizonte en donde la refraccion es máxima, se eleva más que el borde superior A que se halla á 31′ sobre el horizonte. De consiguiente, sufrirá el disco solar en apariencia un achatamiento sensible en el borde inferior. Habrá, pues, una deformacion por la disminucion aparente del diámetro vertical, quedando invariable el diámetro horizontal. Por lo demás, siendo la refraccion muy irregular en el horizonte, el disco del Sol y de la Luna presentan á veces formas muy extrañas, á causa de la cantidad de vapores que se elevan en la atmósfera y alteran su densidad, modificando de este modo el aspecto de los astros. De aquí resulta que las observaciones de los cuerpos celestes, situados en el horizonte, son casi inútiles, por no poderse conseguir en ellas la exactitud que seria de desear.



116. Otro fenómeno tambien presentan el sol y la luna, cuando se hallan en el horizonte, á saber, que el diámetro de su disco aparece más grande de lo que se observa, cuando se hallan á cierta altura. Seria un error atribuir dicho fenómeno á la refraccion atmosférica despues de lo dicho. La causa de esto no es más que aparente, y depende de la relacion de magnitud de los diferentes objetos, cuando los comparamos entre sí, ó los consideramos aisladamente. Cuando el sol se halla cerca del horizonte, juzgamos de su magnitud en comparacion con los objetos terrestres que nos parecen pequeños, y por lo tanto el sol más grande; pero cuando este se halla aislado en el cielo, supongamos en el meridiano, toda comparacion es imposible, y su aislamiento en la bóveda celeste nos hace disminuir su diámetro aparente, y por lo tanto parece más pequeño. Que este fenómeno es solo aparente, se comprueba midiendo por medio de algun instrumento el diámetro del sol en las dos posiciones, pues el ángulo subtendido por dicho diámetro es exactamente el mismo, ya el sol esté en el horizonte, ya se halle en el meridiano. Para la luna, sin embargo, el ángulo visual en el horizonte es más pequeño que en el meridiano por efecto de la paralaje de que hablarémos despues. [Lib. IV. Cap. I § 6].

LIBRO III.

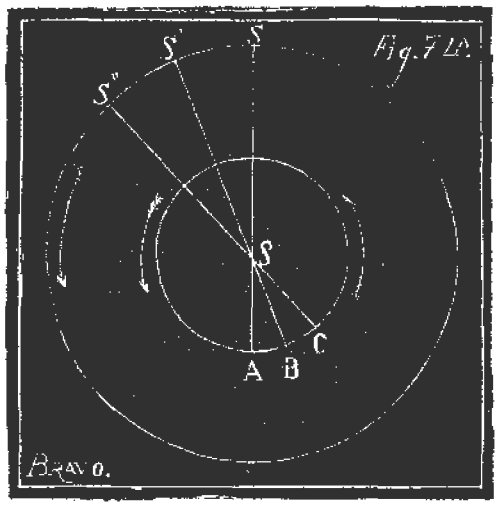
DEL SOL.

CAPITULO I.

§ 1.

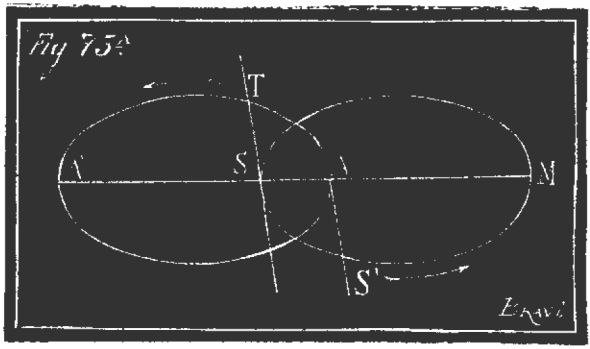
Movimiento aparente.

117. Habiendo demostrado el movimiento real de la tierra al rededor del sol, y teniendo una idea exacta de sus varias posiciones en el espacio, no será difícil ahora entender, cómo es sólo aparente el movimiento que observamos en el sol, del mismo modo que el movimiento de rotacion de la tierra produce respectivamente el movimiento aparente de la esfera celeste en un dia sideral. Tratemos de explicar el fenómeno. Sea ABC [fig. 74] la órbita real de la tierra, en cuyo centro se halle el sol S. Podemos suponer, por ahora, que la órbita terrestre es un círculo. Tomemos una posicion cualquiera A de la tierra; trazando una visual que pase por el sol, y prolongándola hasta la esfera celeste, el observador situado en A verá al sol en S, es decir, en la direccion AS. Cuando la Tierra, trasladándose de Occidente á Oriente, pasa al punto B, trazando la visual BS y prologándola hasta la esfera celeste, el observador situado en B verá el sol segun la direccion BS′, por lo tanto, mientras la Tierra describe el arco AB, por un movimiento relativo parecerá al observador que el sol ha recorrido el arco SS′. Siguiendo la tierra su marcha hácia



C, el sol S, inmóvil en el centro, aparentemente se moverá de S′ á S″. De este modo el observador que estando en la tierra, no echa de ver su movimiento propio, verá moverse el sol de Oriente á Occidente, describiendo un gran círculo en el curso de un año. Así pues, la curva que describe la tierra al rededor del sol parecerá describirla el sol al rededor de la tierra.

118. Hemos dicho, sin embargo, que la curva descrita por la tierra no es un círculo, sino una elipse, uno de cuyos focos ocupa el sol. Veamos cómo, esto supuesto, se verifica el fenómeno. Sea ATA′ [fig. 75] la eclíptica, ó sea, la elipse descrita por la tierra al rededor del sol que está en el foco S. Supongamos otra elipse igual á la precedente, de modo que hallándose los ejes mayores en una misma línea recta A′M, el punto A venga á ser foco de esta segunda elipse, y el punto S, en donde se halla el sol, sea un punto de la misma elipse. Mientras la tierra en su movimiento pasa de A á T describiendo el arco AT de su órbita, por lo dicho anteriormente, parecerá al observador que el sol describe el arco SS′. Ahora bien, trazando las visuales TS y AS′, por la igualdad de las áreas ATS, ASS′, las rectas TS y AS′ son iguales y paralelas; el efecto, pues, producido en el observador es el mismo, ya se considere moverse la tierra de A á T en la primera hipótesis hallándose el sol inmóvil en S, ya se considere moverse el sol en la segunda hipótesis de S á S′, si se supone la tierra inmóvil en el foco A. En efecto, las dos rectas TS, AS′, por la inmensa distancia de los cuerpos celestes á la tierra, se confunden sensiblemente siendo paralelas y se dirigen á un mismo punto de la esfera celeste; por lo tanto, los fenómenos son los mismos en las dos hipótesis. Cuando hablamos, pues, del movimiento del sol, deberá entenderse que hablamos del movimiento aparente conforme á la segunda hipótesis ante dicha.



119. Puesto que la órbita terrestre es una elipse, y el sol ocupa uno de sus focos, es claro que la distancia de la Tierra al sol no es siempre la misma, siendo sabido que en una elipse la excentricidad

es causa de que los radios vectores no sean iguales [1]. En las dos hipótesis de que hemos hablado, la distancia máxima y mínima al foco, se designan con nombres particulares. En la primera hipótesis, es decir, en la de la elipse verdadera descrita por la tierra, llámase *perihelio* la distancia mínima de la tierra al sol y *afelio* la distancia máxima. En la segunda hipótesis, la distancia mínima del sol á la Tierra se llama *perigeo*, y la máxima *apogeo*. Estos dos puntos se determinan por las extremidades de una línea que los une y que lleva el nombre de *línea de los ápsides*.

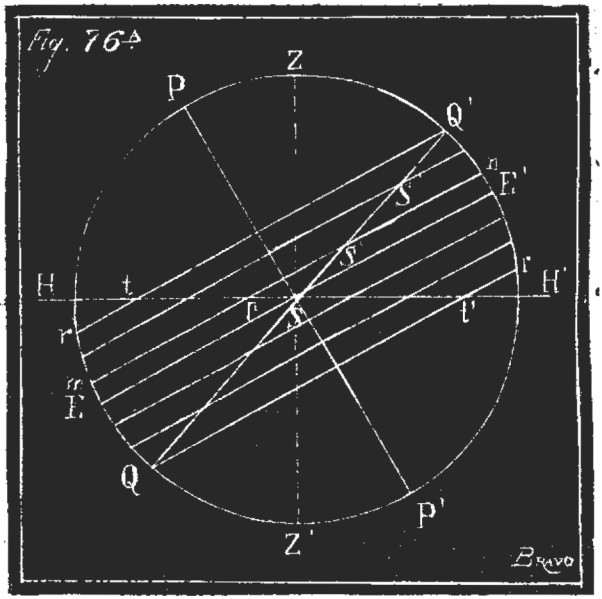
§ 2.

Desigualdad de los dias y de las noches.

120. Siendo la posicion del plano de la eclíptica oblícua con respecto al Ecuador, el movimiento anual del sol sobre dicha curva es causa de que los dias y las noches no sean iguales entre sí, ni áun para los que se encuentran en una posicion oblícua (véase Lib 1º § 7 núm. 3º) con respecto á la esfera celeste. Por la rotacion de la Tierra al rededor de su eje, el sol describe cada dia un círculo aparente que siempre es paralelo al Ecuador; pero como todos los círculos paralelos en los diferentes puntos del globo terrestre no son cortados igualmente por el horizonte, y variando por otra parte la posicion del sol en la eclíptica por su movimiento anual, resulta que no solo es diferente el tiempo que el sol está sobre el horizonte con relacion á los diferentes puntos del globo terrestre, sino que tambien lo es en una misma latitud con relacion á las diferentes épocas del año. En efecto, supongamos que el sol S [fig. 76] se halle en la interseccion de la eclíptica con el Ecuador; la declinacion del sol en este caso será = 0°. Describiendo, pues, el sol en un dia el mismo círculo ecuatorial EE′, puesto que este es el único círculo dividido por todos los horizontes en dos partes iguales, el sol estará tanto tiempo sobre el horizonte, como debajo de él; por lo tanto, el dia será igual á la noche para todas las latitudes. Por esta razon se ha dado el nombre de equinoccio al punto en que la declinacion del sol es = 0°. Supongamos ahora que siguiendo el sol su marcha anual sobre la eclíptica se halla en S′, S″ etc: describirá entonces en un dia el círculo paralelo correspondiente á cada uno de dichos puntos. Ahora, todos estos paralelos, cuanto más se alejan del Ecuador, tanto más

(1) Llámase *excentricidad* en astronomía la relacion de distancia de los focos al centro de la elipse, y *radio vector* la distancia del foco á un punto cualquiera de la órbita elíptica.

desigualmente son cortados por el horizonte de las latitudes que van siendo siempre más altas [véanse *Nociones preliminares* núm. 3]: de consiguiente, en una latitud boreal estará el sol más tiempo sobre el horizonte, que debajo de él, mientras que en una latitud igual austral estará el sol más tiempo debajo del horizonte que sobre él. Si el sol estuviera en un punto S′ de la eclíptica QQ′, para un observador que tuviera por zenit el punto Z, el círculo diurno descrito por el sol, paralelo al ecuador EE′, sería el paralelo *mn*. Claro está que la parte *pn* de este círculo cortado por el horizonte HH′ en el punto *p*, y que se halla sobre el horizonte, es mayor que la parte *pm* que está debajo del horizonte; luego estando el sol más tiempo sobre el horizonte para recorrer el arco *pn*, el dia será más largo que la noche, en que el sol debe recorrer la otra parte del círculo diurno *pm* que es más pequeña. Para un observador que



tuviera el zenit en Z′, se verificaria lo contrario, es decir, hallándose el sol en el mismo punto, deberia recorrer debajo del horizonte el arco *pn* > *pm*; por lo tanto, para dicho observador sería la noche más larga que el dia. Teniendo el sol que recorrer en un año la eclíptica QQ′, resulta que siendo los trópicos Q*r*, Q′*r*′ los límites paralelos de las posiciones del sol, estos serán tambien los que determinan el dia más largo ó más corto en el curso de un año para una misma latitud. Con solo la inspeccion de la figura se vé claro que estas cantidades son complementarias la una de la otra; pues el arco *rt*′, que representa el dia más corto para un observador que tuviera su zenit en Z, siendo igual á *r*′*t* y complemento de Q*t*′, será

tambien complemento de $Q't$ que representa el dia más largo en el curso de un año para el mismo observador. El mismo raciocinio puede formarse con relacion á las noches más largas y más cortas y para un observador que tuviera su zenit en Z'. Es de notar que la curva descrita por el sol cada dia sobre el paralelo diurno, no es un círculo perfectamente cerrado, sino una curva análoga á las espirales de una hélice, pues describe el sol dicho paralelo al mismo tiempo que se mueve sobre la eclíptica.

121. De esto resulta que, para un observador que estuviese en el polo, como tiene por horizonte al mismo ecuador, el sol está siempre sobre el horizonte de un equinoccio á otro, describiendo dicha espiral en la bóveda celeste hasta llegar á su altura máxima, bajando en seguida hasta volver al equinoccio, en que describe exactamente el círculo horizontal. Como el sol emplea seis meses en describir dicha curva sobre el Ecuador, habrá en el polo seis meses de dia, y cuando el sol haya pasado al otro hemisferio, habrá otros tantos meses de noche, de los cuales, sin embargo, un mes y 22 dias serán de crepúsculo, é igual tiempo de aurora; de modo que en los polos no hay más que tres meses escasos de noche completamente oscura. Para un observador situado en el círculo ecuatorial, puesto que los paralelos están cortados todos igualmente por el horizonte, cuyo plano pasa por el eje de la tierra, los dias serán siempre iguales á las noches con pequeñas diferencias debidas á otras causas. En las latitudes intermedias la duracion de los dias aumenta ó disminuye así como la de las noches, segun que aumenta ó disminuye el ángulo que forma el eje de la tierra con el horizonte del lugar, del ecuador al polo.

122. Si se toma por orígen el ecuador, en donde el dia más largo es de 12 horas, la zona comprendida entre dos paralelos en que el dia más largo supera en media hora al de la zona anterior, se llama *clima* astronómico. Suelen tomarse en cuenta tambien los climas de una hora, y los climas de meses. Los climas de media hora son 24; los de una hora 12, y los demás 6. La tabla siguiente manifiesta los diferentes climas, sus límites, la duracion del dia más largo en cada uno de ellos, y la extension en grados de meridiano. La primera columna indica el número de climas de media hora y de meses, la segunda, la duracion del dia más largo correspondiente á cada clima, la tercera, la latitud ó el círculo paralelo límite de la zona, la cuarta, la extension de cada clima en el círculo meridiano.

TABLA DE LOS CLIMAS ASTRONOMICOS.

Climas de media hora.	Dias de maxima duracion.	Latitud.	Extension de los climas.
0	12h00m	0°00′	0°00′
1	12.30	8.34	8.34
2	13.00	16.43	8. 9
3	13.30	24.10	7.27
4	14	30.46	6.46
5	14.30	36.28	5.42
6	15	41.21	4.53
7	15.30	45.29	4.08
8	16	48.59	3.30
9	16.30	51.57	2.58
10	17	54.28	2.31
11	17.30	56.36	2.08
12	18	58.25	1.49
13	18.30	59.57	1.32
14	19	61.16	1.19
15	19.30	62.24	1.08
16	20	63.20	0.56
17	20.30	64.08	0.48
18	21	64.48	0.40
19	21.30	65.20	0.32
20	22	65.46	0.26
21	22.30	66.06	0.20
22	23	66.20	0.14
23	23.30	66.28	0.08
24	24	66.32	0.04
Climas de meses.	Meses.	Latitud.	Extensiones.
1	1	67°23	0°51′
2	2	69.10	2.27
3	3	73.39	3.49
4	4	78.31	4.52
5	5	84.05	5.34
6	6	90.00	5.55

§ 3.

Desigualdad de los dias solares.

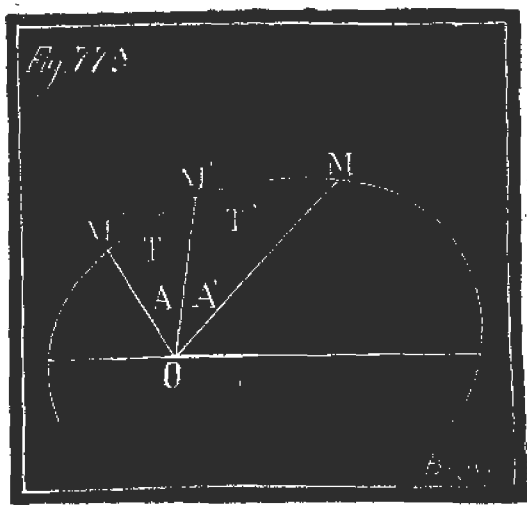
123. Hablando del movimiento aparente de la esfera celeste, dijimos al principio, que observando en varios dias seguidos los pasos de las *estrellas* por el meridiano, y anotando por un reloj los instantes en que estos se verifican, el tiempo que media entre dos pasos de una misma estrella por el meridiano, es siempre igual para todas, constando de 24 horas justas el espacio de tiempo que constituye el dia sideral. Pero, no podemos decir lo mismo del dia solar; pues si observamos el paso del sol y de una estrella por el meridiano contemporáneamente, veremos que, si la estrella al dia siguiente, despues de 24 horas justas, vuelve al meridiano, el sol no pasa por el meridiano junto con la estrella. Durante este intervalo de tiempo el sol ha marchado hácia el Este casi un grado, por consiguiente se encuentra atrasado con respecto á la estrella. Este atraso hace que el sol pase por el meridiano 4^m más tarde que la estrella; de manera que el dia solar es más largo que el sideral. De aquí resulta que en el trascurso de un año hay un dia solar ménos con respecto á los dias siderales, pues multiplicando los 4^m que se atrasa cada dia el sol por el número de dias siderales que son 365, tendremos por resultado 24^h, 33^m, lo que constituye un dia entero. He aquí la razon porque, si nos fijamos de noche en la posicion que ocupa en el cielo una constelacion, ésta no es siempre la misma en las varias épocas del año, sino que se observa en ella, como en todas las demás, un movimiento de E. á O. relativo á la marcha del sol de O. á E. Ahora bien, este mismo intervalo de tiempo que media entre dos pasos consecutivos del sol por el meridiano, y que constituye el dia solar verdadero, no tiene siempre la misma duracion en las varias épocas del año. En efecto, dependiendo la diferencia entre el dia solar y el sideral del movimiento del sol en ascension recta, esto es causa de que los dias solares tampoco sean iguales entre sí.

124. Dos causas pueden influir en dicha variacion: 1º la desigualdad del movimiento del sol en longitud: 2º la oblicuidad de la eclíptica. La primera causa no tiene necesidad de demostracion, pues si

se observan las longitudes del sol cada dia del año, se reconoce que, mientras su latitud es siempre nula, permaneciendo el sol siempre en el plano de la eclíptica, el movimiento del sol en longitud no es *uniforme*. Bastará pues probar solamente que la velocidad del sol en su órbita aparente no es siempre igual. Para esto es preciso advertir y tener presente la ley de Kepler que lleva el nombre de *principio de las áreas*. Esta ley se enuncia y demuestra como sigue.

125. "*Las áreas descritas por el radio vector son proporcionales á los tiempos.*" Esté un planeta en M [fig. 77]; despues de un tiempo T se hallará en M′, de M′ pasa, despues de un tiempo T′, á M″. Trazando los radios vectores MO, M′O, M″O, sean MOM′=A y M′OM″ = A′ las áreas descritas en los tiempos T y T′; resultará:

A:A′::T:T′.

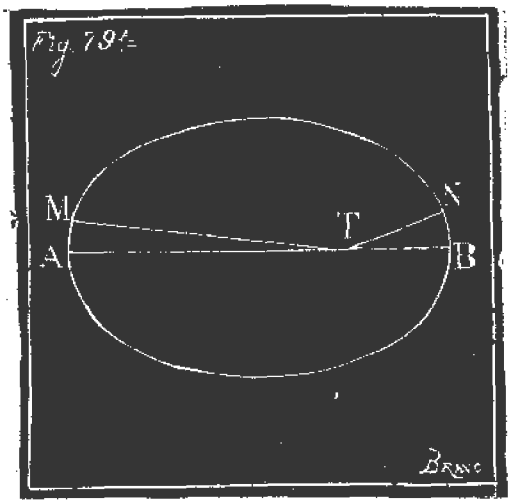


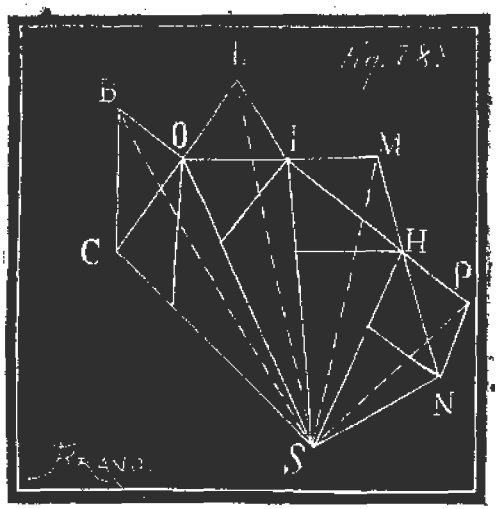
En efecto, descomponiendo A en *n* áreas infinitésimas, iguales á *a* de modo que sea A=*na*; haciendo lo mismo con A′, será A′ = *n′a*. Si el tiempo T se descompone en tiempos infinitésimos =*t*, de modo que sea T=*nt*, y así mismo T′=*n′t*, tendremos las proporciones $\frac{A}{A'} = \frac{na}{n'a}$ y $\frac{T}{T'} = \frac{nt}{n't}$: Siendo los segundos miembros iguales será tambien $\frac{A}{A'} = \frac{T}{T'}$. Luego las áreas son proporcionales á los tiempos [1].

126. Puesto, esto, supongamos que el radio vector describa en un tiempo determinado dos áreas iguales en las épocas del perigeo

(1) En este raciocinio se supone que el número de áreas infinitésimas que constituye el área A, es igual al número de tiempos infinitésimos que constituyen el tiempo correspondiente T, verificándose lo mismo con respecto al área A′ y al tiempo T′. No será fuera de propósito recordar aquí cómo esto se demuestra en mecánica. La demostracion está fundada en la relacion de las áreas iguales descritas en tiempos iguales. Si un móvil describe un polígono, se demuestra que las áreas descritas en tiempos iguales, son iguales; lo mismo acontece si el móvil describe una curva, siendo esta el lí-

y del apogeo. Sean BTN, ATM dichas áreas [fig. 79]; la primera en el perigeo, la otra en el apogeo. Como los dos triángulos tienen diferentes alturas, pues BT < AT, y por otra parte, las áreas se suponen iguales se sigue que la base BN debe ser mayor que AM; ahora bien, como el sol describe en tiempos iguales las bases AM y BN, resulta que la velocidad del sol en recorrer el arco BN, debe ser mayor que la que tiene al recorrer el arco AM. De consiguiente, hallándose el sol en el perigeo, describirá en un dia



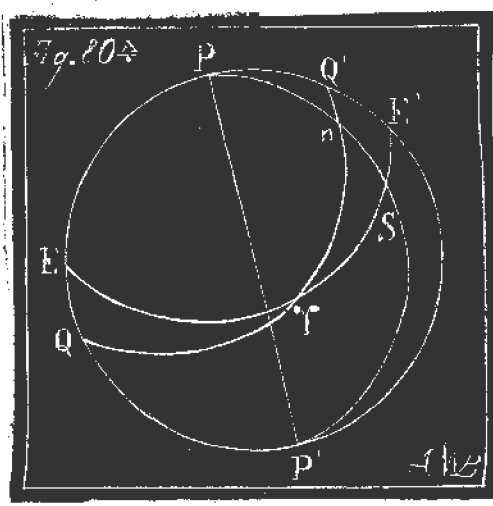


mite del polígono. En efecto s an SCO, SOI, SIH, (fig. 78) las áreas descritas por un móvil cualquiera COIHN, estas serán iguales si están descritas en tiempos iguales, pues las áreas triangulares SCO, SOL, teniendo las bases CO, OL iguales y la altura igual quedando los vértices en el mismo punto S, serán iguales segun lo enseña la geometría; pero el área triangular SOI es tambien igual al área SOL, por tener la base comun OS y los vértices en la recta paralela LI; luego será SCO = SOI. El mismo raciocinio puede formarse con respecto á la área IHS = OSI:

pues tenemos OSI = SIM,
de aquí SIM = IHS;
luego OSI = IHS

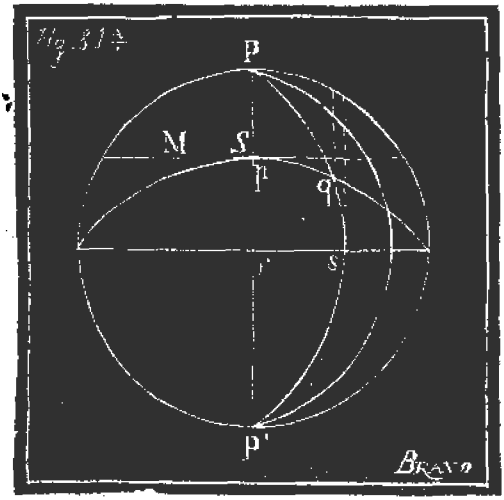
un arco mayor que en el apogéo. Esta velocidad máxima que se verifica el 31 de Diciembre, pues entonces pasa el sol por el perigéo, llega á ser = 1°,1′,10″. La velocidad mínima, que es hácia el 2 de Julio, en que el sol se halla en el apogeo, es = 0°, 57′, 11″, siendo su término medio = 0°, 59′, 8″33 por dia. La velocidad, pues, del sol disminuye del perigéo al apogéo, y aumenta del apogéo al perigéo. Siendo esto así, no podrán los dias solares ser iguales entre sí, no siendo iguales los espacios que anda el sol todos los dias en su órbita marchando hácia el E. y por tanto, no serán siempre justos tampoco los 4ᵐ que hemos dicho arriba.

127. La segunda causa se manifestará claramente, si se considera que la oblicuidad de la eclíptica con respecto al ecuador hace que los grados de ecuador, de los cuales depende la duracion de un dia, no siempre corresponden á grados iguales en la eclíptica, áun en el supuesto de que esta fuese circular. Tomemos un arco de 1° sobre la eclíptica γn [fig. 80] trazando por dicho punto un arco del círculo de declinacion perpendicular al ecuador, el arco γs representará un cateto del triángulo rectángulo γSn, y siendo el cateto menor que la hipotenusa, el arco de ecuador γS correspondiente al arco de la eclíptica γn será menor que un grado. Cuando, pues, el sol se halla cerca de los equinoccios, los arcos de eclíptica que recorre en un dia son mayores que los correspondientes sobre el ecuador.



128. Si ahora consideramos al sol en los solsticios, serán los arcos de eclíptica menores que los arcos del ecuador, que les corresponden. Si el sol se halla en S [fig. 81], como el arco pq coincide sensiblemente con un arco del trópico paralelo al Ecuador y que es más pequeño que este, será tambien el arco de eclíptica pq más pequeño que el arco rs correspondiente sobre el Ecuador; por lo tanto, si el arco rs del ecuador es = 1°, el arco de eclíptica pq será me-

nor que un grado. De este modo al movimiento del sol en longitud corresponden arcos más pequeños en ascension recta hácia los equinoccios, y más grandes hácia los solsticios, áun suponiendo circular á la órbita del sol; que si se la considera, como es en realidad, elíptica, la diferencia será mayor. Para que los dias solares fueran iguales entre sí, deberia el sol describir con movimiento uniforme el mismo círculo ecuatorial, que es lo que suponen los astrónomos para medir el tiempo medio, de que hablaremos en el Cap. II § 2.

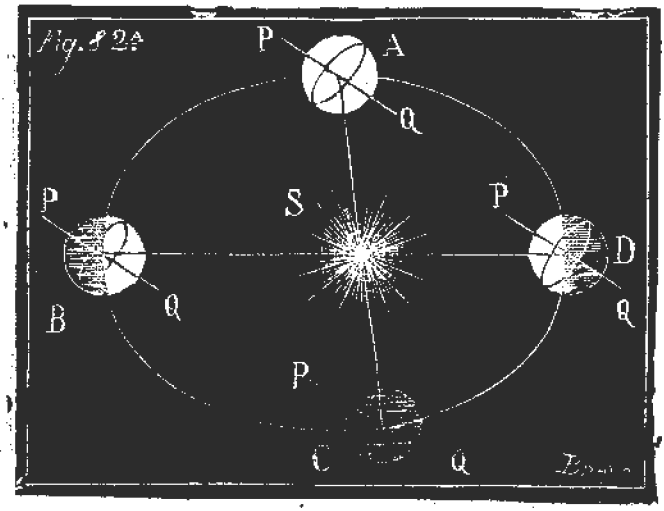


§ 4.

Estaciones; desigualdad de su duracion.

129. La inclinacion del éje de la Tierra sobre su órbita, dá lugar á diferentes posiciones que puede tener el sol, con relacion á los puntos del globo terrestre. Vimos en el § 2 del libro anterior, cómo en el movimiento anual de la tierra, conservando el eje constantemente la misma direccion, se halla sensiblemente paralelo á sí mismo, y dá orígen á la diferencia de duracion de los dias y de las noches. Ahora, este mismo paralelismo dá lugar á la variedad de las estaciones. Sea S el sol [fig 82], A, B, C, D, cuatro posiciones de la Tierra en su órbita, de las cuales A y C corresponden á los equinoccios de Marzo y Setiembre, B y D á los solsticios de Junio y Diciembre. El eje de la tierra está representado en las cuatro posiciones por la recta PQ, que se conserva siempre paralela á sí misma. La diferencia de las estaciones depende de dos causas, á saber, del mayor ó menor tiempo que el sol está sobre el horizonte de un lugar, y de la diferente exposicion del lugar á los rayos solares. En cuanto á la primera causa, ya hemos dicho [Lib. III Cap. I § 2º] en qué consis-

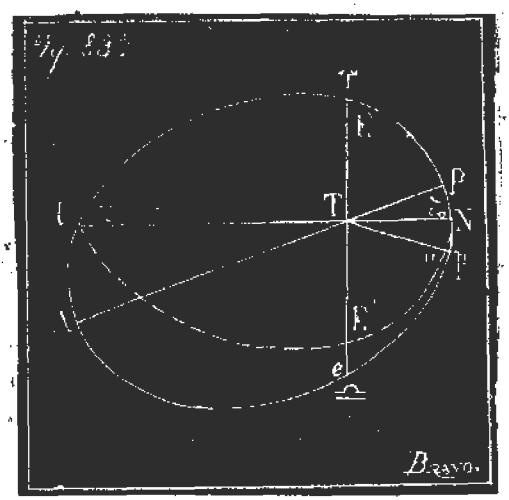
te la desigualdad de los dias, y por lo tanto, permaneciendo el sol más tiempo sobre el horizonte de un lugar en un hemisferio, mayor



cantidad de calor absorberá la Tierra por la irradiacion solar, verificándose lo contrario en el hemisferio opuesto. En cuanto á la segunda causa, sabemos que cuanto más directos caen los rayos caloríficos sobre un punto, tanto mayor será su temperatura. Si fijamos una mirada en las cuatro posiciones de la tierra en A, B, C, D, veremos que los rayos directos del sol no caen siempre sobre un mismo punto, sino que la direccion de estos rayos forma un ángulo más ó menos grande con la direccion del eje PQ. Hallándose la tierra en A, los rayos solares caen directamente sobre el ecuador, y su direccion forma con el eje de la Tierra un ángulo de 90°; en este caso, para los dos hemisferios, siendo los dias iguales á las noches, no solo dura el sol sobre el horizonte 12 horas justas para todos los puntos del globo fuera de los polos, sino que para latitudes iguales los rayos caloríficos caen con la misma oblicuidad, la cual es tanto mayor, cuanto mayor es la latitud del lugar de que se trata. Habrá entonces primavera para un hemisferio, supongamos boreal, y otoño en el austral. Si la tierra pasa á la posicion B, la distancia polar del sol con respecto al hemisferio N. es menor que 90° y los rayos solares caen directamente sobre el trópico del Cáncer, mientras que son muy oblícuos con respecto al trópico de Capricornio, en este caso será verano en el hemisferio boreal, é invierno en el austral. En la posicion C de la Tierra, como los rayos solares caen de nuevo directa-

mente sobre el ecuador, se verificarán los mismos fenómenos que en la posicion A, con la diferencia que, si en A era primavera para el hemisferio boreal, y otoño para el austral, en la posicion C se verificará el órden inverso. Pasando finalmente la tierra á la posicion D, todos los fenómenos de la posicion B se verificarán en sentido inverso, habrá, pues, en dicha posicion invierno en el hemisferio boreal, y verano en el austral. En efecto, la distancia polar del sol con relacion al hemisferio N. es mayor que 90°, mientras que para el austral es mucho menor. De modo que la diferencia de las estaciones depende de la mayor ó menor distancia polar del sol con respecto al polo de cada uno de los hemisferios.

130. La igualdad de los grados que recorre el sol para pasar de un trópico á otro, y volver despues al primero en un año, podria hacer creer que la duracion de cada estacion es de un mismo número de dias, pero no es así. Estando la Tierra en T [fig. 83], la línea de los equinoccios ♈ ♎ está representada por la línea *Ec*, la de los solsticios por IN, y la de los ápsides por AP. Con la simple inspeccion de la figura se vé claro que la elipse está dividida en cuatro partes desiguales á causa del movimiento de la línea de los ápsides AP, de la cual hablaremos en el párrafo siguiente. Y como á cada una de estas partes corresponde una estacion, tambien la duracion de las estaciones será desigual.



En efecto, la parte ETN que corresponderia al verano en el hemisferio austral, es más pequeña que N*Te*, y menor áun que las otras dos ETI, I*Te*. Trataremos de probarlo. Sabemos que los radios vectores van siendo siempre mayores, cuanto más se alejan del perigeo. Ahora, si tomamos un radio vector T*p* que forme un ángulo N*Tp* = PTN, y suponemos que se dobla la figura por la línea de los solsticios, el radio TP caerá sin duda sobre T*p*, por ser los ángulos iguales, el punto E caerá en E', pero la estremidad P del radio vector TP no podrá caer sino en *n*, por ser más pequeño que T*p*; de consiguiente,

toda la área ETN coincidirá con el área E'TN, pero como E'TN < e'TN, se sigue que nuestro invierno será más corto que el otoño representado por el área e'TN. Con un raciocinio análogo podria demostrarse que ETI < ITe y NTe < eTI, es decir, que para el hemisferio boreal la estacion más corta es el invierno; siguen despues por órden el otoño, la primavera, y el verano. La duracion en dias es como sigue:

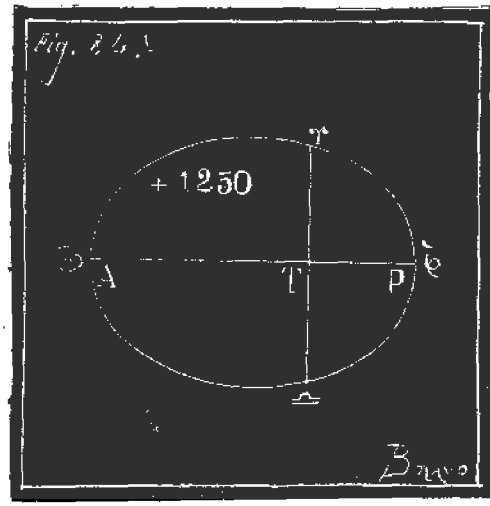
Hemisferio boreal.	Hemisferio austral.	
Invierno.—Verano,	89ᵈ, 1,	de 21 de Dic. á 21 de Marzo.
Otoño.—Primavera,	89, 17,	de 21 de Set. á 21 de Dic.
Primavª—Otoño,	92, 22,	de 21 de Marzo á 21 de Junio.
Verano.—Invierno.	93, 14,	de 21 de Junio á 21 de Set.
	363, 54 = 365ᵈ,6ʰ.	

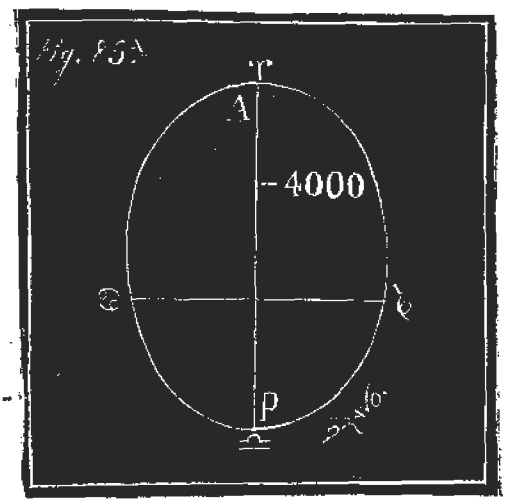
§ 5.

Movimiento del perigéo.

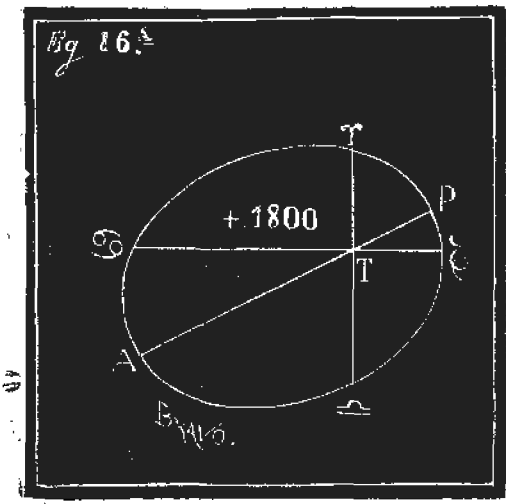
131. La desigualdad de las estaciones no es siempre la misma, ni tiene siempre cada una de ellas el mismo número de dias ó de horas. Siendo el valor de la longitud del perigéo solar el que indica la posicion del eje mayor de la elipse, basta comparar el valor de estas longitudes obtenidas en épocas muy distantes entre sí, para reconocer que el perigéo cambia de posicion. Así, en 1690 la longitud del perigeo era = 277°,35′,31″, y en 1775 era = 279°,3′,17″. Luego en todo este intervalo ha variado el eje mayor 1°,27′46″, ó sea 5266,″ lo que dá en término medio 61″,9 por año. Si este aumento fuera solo de 50″,2, cantidad que el equinoccio retrógrada, podria concluirse que el perigeo conserva siempre el mismo lugar con relacion á las estrellas, y este movimiento deberia atribuirse únicamente al del equinoccio. Pero la longitud del perigéo vá aumentando cada año 11″,7 por año con movimiento directo, y segun el órden de los signos. Ahora, fácil es formarse una idea de la diferente duracion de una misma estacion en épocas muy distantes entre sí. El año de 1250 de la era cristiana el perigéo coincidia con el solsticio de Junio, y la línea de los ápsides, coincidiendo con las de los solsticios, era perpendicular á la línea de los equinoccios; en esa época, pues la duracion de la primavera era igual á la del verano, y el otoño igual al invierno, ya que las áreas ETN, NTe eran iguales, como

tambien era ETI=ITe. La fig. 84 representa la posicion de la línea de los ápsides en dicha época. Remontándose más lejos, puesto que el perigeo solar se mueve en una cantidad siempre igual, se llega á una época en que la línea de los ápsides coincide con la de los equinoccios y el perigeo solar con el equinoccio de libra, como lo representa la fig. 85. El número necesario de años para que se verificara esa posicion es de 5735, ó lo que es lo mismo 4000 años antes de la era cristiana, época en que la mayor parte de los cronólogos fijan la creacion del hombre sobre la tierra. Entonces la duracion del verano y del otoño eran iguales, como tambien la del invierno y la primavera. Actualmente la posicion de la elipse solar es tal cual la representa la fig. 86. El ángulo PTN que forma la línea de los ápsides con la línea de los solsticios, á principios de 1800 era de 10°,538, y los intervalos de las estaciones expresadas en dias solares medios, tenian los valores siguientes: Del solsticio de Diciembre al equinoccio de Marzo 89°,071. Del equinoccio de Setiembre al solsticio de Diciembre 89°,699. Del equinoccio de Marzo al solsticio de Ju-





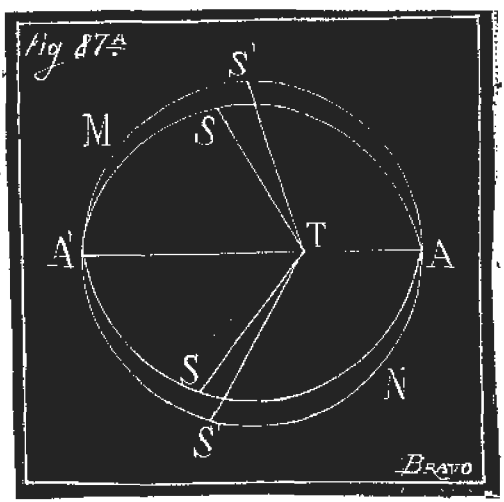
rio 92°,905, y del solsticio de Junio al equinoccio de Setiembre 93°, 565. Mientras el perigéo queda á un lado del ecuador, el otoño y el invierno juntos serán más largos que la primavera y el verano. En este siglo la diferencia es casi de siete dias. Estos intervalos llegarán á ser iguales por los años de 6485, cuando el perigéo vuelva á coincidir con el equinoccio de aries, siguiendo despues el mismo período.



§ 6.

Ecuacion del centro.

132. Describiendo el sol una órbita elíptica como lo hemos demostrado, su velocidad no es uniforme. Tratemos de avaluar la diferencia de esta variacion en los diversos puntos de la órbita. Para esto supongamos un sol imaginario que giro con movimiento uniforme al rededor de la tierra, cuyo centro coincida con el centro de la elipse al mismo tiempo que el sol verdadero describe la elipse con movimiento variado. Por el punto A [fig. 87], extremidad del eje mayor, pasen juntos el sol verdadero y el ficticio. La longitud de este, creciendo



proporcionalmente al tiempo, será diferente de la longitud del sol verdadero en cierta cantidad periódica de más ó de ménos; la longitud del sol ficticio ó supuesto se llama *longitud media*, y la cantidad periódica *ecuacion del centro*. Sea AS la longitud del sol verdadero, y AS′ la longitud media, será AS—AS′ la ecuacion del centro, la cual del perigéo al apogéo es positiva, porque el sol verdadero se adelanta, y del apogéo al perigéo es negativa, porque el sol verdadero se atrasa con relacion al sol supuesto. La ecuacion del centro es nula dos veces al año, en el perigéo y en el apogéo. Su valor máximo es = 1°,55′,53″. El ángulo que el radio vector TS forma con el eje mayor TA y que determina el valor de la longitud por el lado del perigéo, se llama *anomalía media* con respecto al sol ficticio, y *anomalía verdadera* con respecto al sol verdadero. Los astrónomos se valen mucho de esta anomalía media para la medida del tiempo medio.

§ 7.

Variaciones del diámetro aparente del sol.

133. Puesto que la naturaleza de la órbita descrita por el sol es tal que este no conserva siempre la misma distancia á la Tierra, se sigue que, comparando las observaciones hechas en el curso de un año sobre la magnitud del disco solar, éste no presenta siempre el mismo diámetro. La diferencia nace de la excentricidad de la elipse solar, pues el radio vector en el perigéo es menor que el radio vector en el apogéo. La diferencia; sin embargo, no pasa de 0°,1′,04″,6, pues siendo el diámetro aparente del sol cuando llega á su valor máximo hácia el 31 de Diciembre = 0°,32′,33″,6, y cuando llega á su mínimum el 2 de Julio, = 0°,31′,31″, el término medio será =0°, 32′,03″. Como el diámetro aparente de un astro varía en razon inversa de la distancia, si se supone la distancia doble, el diámetro será la mitad: puesto pues que el diámetro aparente del sol varía en $\frac{1}{60}$ de la distancia media, tomando por unidad su distancia media á la tierra, la distancia mínima será =0,98321 y la máxima =1,01679.

§ 8.

Año trópico, sideral, anomalístico.

134. Siendo elíptica la órbita que describe el sol en un año, el principio de este movimiento anual puede determinarse con relacion á varios puntos, de modo que hay varias especies de años, segun el

punto de donde se parte. Tres son generalmente los puntos que pueden tomarse como principio y orígen del año: 1º una estrella cualquiera, 2º el equinoccio, 3º el perigéo. En el primer caso, el intervalo de tiempo que emplea el sol partiendo de una estrella fija para volver á la misma, se llama año *sideral* y consta de $365^d, 6^h, 9^m, 9^s$. En el segundo caso, el tiempo que emplea el sol partiendo del equinoccio de Aries para volver al mismo se llama *año trópico*. La retrogradacion de los equinoccios [véase el Lib. I cap. III § 3], hace que esta especie de año sea más corto que el sideral, pues como hemos visto, el sol llega al equinoccio antes de completar su revolucion sideral; así es que el año sideral excede al trópico en el tiempo empleado por el sol en recorrer el arco de $50'',25$ que retrograda el equinoccio, y es de $20^m,19^s,9$ [1] lo que hace que la duracion del año trópico sea $= 365^d,5^h,28^m,49^s,7$. En el tercer caso, si se considera el tiempo empleado por el sol desde que parte del perigéo, hasta que vuelve al mismo, se tendrá un intervalo de tiempo que se llama *año anomalístico*. Como el perigéo tiene un movimiento directo de $11'',7$ por año, cuando el sol partiendo del perigéo ha completado su revolucion sideral, tiene todavía que describir un arco de $11'',7$ para llegar de nuevo al perigéo, empleando en esto $4^m,39^s,9$: por lo tanto, añadiendo este tiempo al año sideral, se halla que el año anomalístico es el más largo de todos y consta de $365^d,6^h,13^m,49^s,3$. [2].

§ 9.

Calendario.

135. Comparando entre sí dos equinoccios observados en épocas muy distantes, haciendo la suma de los dias y de las horas recorridas entre las dos observaciones, y dividiéndolas por el número de vueltas ejecutadas por el sol en la esfera celeste, hallaron los antiguos, que la duracion del año era de $365\frac{1}{4}$. Empero Hiparco se apercibió de que dicha duracion era demasiado grande, y Tolomeo

(1) No debe causar embarazo el que el sol recorra los $50'',25$ en $20^m,19,^s9$, pues no se trata aquí del movimiento diurno, en que el sol recorre 15° por hora, sino del movimiento anual en que recorre $59'$ en 24 horas.

(2) Como el dia sideral es más corto que el solar, resulta que $365\frac{1}{4}$ dias solares equivalen á $366\frac{1}{4}$ dias siderales pues que un dia solar $= \frac{366\frac{1}{4}}{365\frac{1}{4}} = 1,00273 =$ $= 1^d, 3^m, 56^s,5$ sideral. El sol, pues, en un año ha dado una vuelta ménos que las estrellas en su movimiento diurno del mismo modo que un viajero que marcha en sentido contrario á la rotacion de la tierra, se halla con un dia de ménos al concluir su viaje.

fijó la correccion en $\frac{1}{300}$; de modo que en los siglos pasados quedó el valor de la duracion del año en $365^d + \frac{1}{4} - \frac{1}{300}$. Pero por los cálculos de ulteriores observaciones, Bessel lo fijó en $365^d, 5^h, 4^m, 47^s, 809$ para el principio de este siglo XIX. Sin embargo, esta duracion no es rigurosamente constante y cada año despues de mil ochocientos debería disminuir en 0.00595. Ultimamente Leverrier dió por valor del año 1860 una duracion de $365^d, 5^h 48^m, 45^s, 1$. De esto se infiere que el año está formado de un número exacto de dias enteros, y que debiéndose tomar este periodo por base del año civil, el cual no admite en su cómputo fracciones de dias, se hacen necesarias las intercalaciones, para no tener que contar el principio del año en las varias horas del dia. La regla más sencilla de dicha intercalacion es la que adoptó Julio César, propuesta por el astrónomo Sosígenes, á saber, que cada año comun fuese de 365 dias y despues de tres años, el cuarto fuera de 366. Se determinó tambien que el principio del año trópico se arreglase de modo que el paso del sol por el equinoccio de aries cayese en 21 de Marzo. Para esto fué necesario duplicar el dia 25 de Febrero diciéndose dos veces VI Kal. Mart. *(sexto Kalendas Martias)* de donde se deriva la denominacion de *bisiesto*: por lo tanto, este mes consta de 29 dias cada cuatro años. A no haber intercalacion, se atrasaría el equinoccio un dia cada cuatro años, un mes al cabo de 120 años, y daría la vuelta entera de un año en 1470 años.

136. La correccion Juliana, sin embargo, sin ser del todo exacta, era demasiado importante. En efecto, el año Juliano era de un número de dias $= 365^d, 6^h$

el año verdadero es	=	365, 5, 48^m, 37, 81.
la diferencia es	=	+ 11, 12, 19.
que en 4 años dá un retardo de		44, 48, 76

sobre el sol verdadero; de modo que, en 25 periodos de cuatro años, ó lo que es lo mismo, en 100 años, se tiene un adelanto del lugar verdadero del sol de $18^h, 40^m, 19^s$. Así pues, como el exceso en el Calendario Juliano es de casi tres dias en 400 años, para corregir este exceso, hubo que suprimir el año bisiesto en cada centenario, admitiéndolo al fin del cuarto siglo. En tiempo del Concilio de Nicea, el año 325, el equinoccio de Aries cayó el 21 de Marzo, pero continuando en contarse los años segun el Calendario Juliano, por el atraso de tres dias cada cuatro siglos, en 1582 el equinoccio vino á caer el 11 de Marzo. Para corregir este error y *establecer* la invariabilidad del equinoccio en 21 de Marzo, á fin de que la celebracion de la Pascua pudiera siempre celebrarse despues del primer plenilunio que cayera despues de dicho equinoccio, Gregorio XIII ordenó que por ese año se quitaran diez dias al mes de Octubre lla-

mando 15 el 5 de ese mes y determinó que en cada siglo no fuera bisiesto el año secular, pero que sí lo fuera cada cuatro siglos. [1] De este modo, compensándose el defecto, el equinoccio de primavera caerá siempre el 21 de Marzo. La regla que se dá para la intercalacion es la siguiente. "Cada año cuyo número es divisible por 4 será bisiesto; será comun de 365 dias, si no es divisible por 4." Así mismo, "cada siglo cuyo año secular no es divisible por 4 será comun de 365 dias, y bisiesto si es divisible por 4." Así siendo bisiesto el año de 1600, no lo son los años de 1700, 1800, 1900, por no ser divisibles por 4 los números seculares de los siglos 17, 18, 19; pero el año 2000, siendo 20 divisible por 4, será bisiesto.

137. La correccion Gregoriana fué adoptada inmediatamente por todas las naciones católicas, y más tarde por los protestantes. Los griegos y los rusos siguen todavía el Calendario Juliano, y el atraso actualmente, con respecto al Gregoriano, es de 12 dias.

138. El periodo de siete dias llamado *semana* y que se encuentra en uso en todos los pueblos, se remonta á la más alta antigüedad, y parece arreglado segun el más antiguo sistema de astronomía. Los dias de la semana llevan en efecto los nombres del sol, de la luna y de los cinco planetas conocidos por los antiguos, á saber: Domingo el dia del Señor ó del Sol, el Lúnes de la Luna, Mártes de Marte, Miércoles de Mercurio, Juéves de Júpiter, Viérnes de Venus, y Sábado de Saturno.

139. El número de los meses corresponde á los doce signos del zodiaco que recorre el sol en un año, llevando cada mes su propio signo en el órden siguiente:

Marzo,	*Aries.*	Julio,	*Leo.*	Noviembre,	*Arcitenens.*
Abril,	*Taurus.*	Agosto,	*Virgo.*	Diciembre,	*Caper.*
Mayo,	*Gémini.*	Setbre.,	*Libra.*	Enero,	*Amphora.*
Junio,	*Cáncer.*	Octbre.,	*Scorpius.*	Febrero,	*Pisces.*

(1) El Sumo Pontífice Gregorio XIII encargó el trabajo de la correcion del Calendario á los astrónomos mas notables de aquella época. Entre los comisionados se distinguieron especialmente el Cardenal Sirlet y el P. Cristóbal Clavio, jesuita aleman, el cual escribió sobre el particular un copioso volúmen. Pero la misma comision opinó que se adoptara el método indicado por un médico calabrés de nombre Luis Lilio, por ser el más sencillo y el más fácil el cual, sin embargo, no tuvo la satisfaccion de ver adoptado su método, por haber sido arrebatado por una muerte prematura.

Apéndice para hallar el dia de Pascua.

140. La principal causa de la reforma del calendario Juliano, verificada bajo el Pontificado de Gregorio XIII en 1582, fué la celebracion de la Pascua de Resurreccion en un tiempo fijo. Se sabe que la fiesta de la Pascua debia celebrarse entre los judíos en el dia 14 de la luna de Marzo que era el primer mes del año llamado *Nisan*. Aunque hay duda con respecto al dia correspondiente á nuestro Marzo, lo cierto es, que nuestro Señor Jesucristo celebró la última cena en la 14ª luna segun el rito judáico, y despues de haber padecido y muerto en la cruz, resucitó al amanecer del tercer dia, es decir, el domingo despues de la décima cuarta luna, ó sea despues del plenilunio. En vista, pues, de esto, la santa Iglesia, en memoria de este gran misterio, ordenó se celebrara la Pascua en los tiempos posteriores el Domingo siguiente al primer plenilunio despues del equinoccio de Marzo. Pero hemos visto que este equinoccio, sin la correccion Gregoriana, iba atrasándose más y más y que en 1582 cayó el 11 de Marzo; por lo tanto, era necesario adelantar la Pascua; este adelanto se hubiera poco á poco alejado demasiado del tiempo en que se verificó la resurreccion del Señor, que fué entre Marzo y Abril; por esto fué necesario hacer dicha correccion, para que la celebracion de la Pascua volviese á su lugar. Sin embargo, como no es posible que caiga todos los años en el mismo dia del mes y dependiendo, por otra parte, de la Pascua la celebracion de las otras festividades de la Iglesia, es necesario fijar ante todo el dia de la Pascuá para determinar las otras.

141. Para hallar el dia en que cae la Pascua en un año cualquiera, ha sido propuesto por M. Gauss el método siguiente, cuya demostracion se deduce de algunos principios ya expuestos sobre los movimientos del sol, y otros que pertenecen á la luna. Las operaciones puramente aritméticas son las siguientes. Propuesto el año del que debe hallarse el dia de Pascua, bastará:

1º Dividir por 19 el año propuesto llamando a á la resta.
2º Dividir el mismo año por 4 llamando b á la resta.
3º Dividir el mismo año por 7 llamando c á la resta.
4º Dividir [19 a+M] por 30 llamando d á la resta.
5º Dividir [2 b+4 c+6 d+N] por 7, llamando e á la resta.
6º Hágase constantemente M=15 y N=6 en el calendario Juliano, y en el calendario Gregoriano hágase:

Desde	1582	hasta	1699	M =	22	y N =	3
,,	1700	,,	1799	,,	23	,,	3
,,	1800	,,	1899	,,	23	,,	4
,,	1900	,,	1999	,,	24	,,	5
,,	2000	,,	2099	,,	24	,,	5
,,	2100	,,	2199	,,	24	,,	6

7? La fórmula general para el dia de Pascua será

$$[22 + d + e] \text{ Marzo}$$

ó lo que es lo mismo $[d + e - 9]$ Abril

Esta regla es general para el Calendario Juliano, pero tiene una excepcion en el Calendario Gregoriano, á saber: si el cálculo dá un número mayor que el 25 de Abril, habrá que restar 7 dias ó una semana, si dá por ejemplo 26, será el 19. Sirvan de ejemplo los siguientes.

Hallar el dia de Pascua para el año de 1886 será:

$$\frac{1886}{19} = \frac{19.99 + 5}{19} \qquad a = 5 \qquad 19\,a = 95$$

$$\frac{1886}{4} = \frac{4.471 + 2}{4} \qquad b = 2 \qquad + M = 28$$

$$\frac{1886}{7} = 7.269 + 3 \qquad c = 3 \qquad 118$$

$$\frac{19\,a + M}{30} = \frac{118}{30} = \frac{30 \times 3 + 28}{30} \qquad d = 28$$

$$\frac{2\,b + 4\,c + 6\,d + N}{7} = \frac{188}{7} = \frac{7.26 + 6}{7} \qquad e = 6$$

finalmente $(22 + 23 + 6) = 56$ Marzo ó sea 25 de Abril

$(28 + 6 - 9)$ Abril = 25 de Abril las dos fórmulas son igualmente seguras.

Para el año 34 de la era cristiana resulta:

$$\frac{34}{19} = \frac{1.19 + 15}{19} \qquad a = 15$$

$$\frac{34}{4} = \frac{4.8 + 2}{4} \qquad b = 2$$

$$\frac{34}{7} = \frac{7.4 + 6}{7} \qquad c = 6$$

$$\frac{19a + M}{30} = \frac{300}{30} = \frac{30.10}{30} \qquad d = 0 \qquad 19a = 285$$

$$\frac{2b + 4c + 6d + N}{7} = \frac{4.7 + 6}{7} = \frac{34}{7} \qquad e = 6 \qquad + M = 15$$

$$19\,a + M = 300$$

finalmente $(22 + 0 + 6)$ Marzo = 28 de Marzo

$(0 + 6 - 9)$ Abril = 28 de Marzo.

Segun este cálculo, siendo opinion comun que nuestro Señor Jesucristo vivió 33 años completos, celebró la Pascua en el dia aniversario de la Encarnacion y resucitó el 28 de Marzo.

142. Hallado el dia de la Pascua, facil es averiguar en qué dia caerán las otras festividades movibles de la Iglesia, de las cuales algunas caen en juéves, como la Ascencion, 40 dias despues de Pascua, y la de Corpus á los 62 dias, otras caen en domingo como la de Pentecostés á los 50 dias, y la de la Santísima Trinidad á los 57. Las que preceden á la Pascua, son Domingo de Ramos, ocho dias antes de la Pascua, Domingo de Pasion 15 dias antes, y remontándose á los seis, siete, ocho y nueve domingos antes de Pascua, tendremos los domingos 1º de Cuaresma, de Quincuagésima, Sexagésima y Septuagésima. El dia de Ceniza cae el miércoles despues del Domingo de Quincuagésima.

§ 10.

Nocion histórica sobre la division del tiempo.

143. Aunque, como hemos dicho, se halla dividido el tiempo, en años, meses, semanas y dias, sin embargo, no todas las naciones han tenido siempre un mismo modo de contarlos. En general todas han dividido el año en cierto número de dias, pero su forma ha sido muy variable. Los romanos empezaban en Marzo, los judíos que distinguian el año civil y el año religioso, principiaban el año civil desde el plenilunio de Setiembre, cualquiera que fuese el dia en que se verificara; y el religioso desde el novilunio de Marzo. Su duracion, por consiguiente, era de 354 dias ó sea 12 lunaciones justas. Este modo de enumeracion llevaba consigo un error de treinta dias, que los judíos estaban obligados á intercalar cada tres años. Dicho error resultaba de que, siendo verdaderamente el año de 365 dias, los 11 dias sobrantes de cada año, al fin de tres, sumados venian á formar una lunacion entera. Este mismo método usaban los griegos, con la diferencia de que empezaban el año con el novilunio, que se verificaba despues del 21 de Junio que era el dia más largo. Los persas, los medos y otras naciones orientales, empezaban el año con el solsticio de verano, que para ellos era en Junio; de manera que hasta los últimos siglos, cuando el comercio se ha visto florecer entre las naciones, no ha habido ley fija sobre el modo de enumerar los años. Al presente todos los pueblos empiezan el año por Enero, aunque los rusos conservan una diferencia de 12 dias como hemos dicho. A pesar de esta variedad, el año ha sido siempre dividido en doce meses; de manera que un mes era la duodécima parte de un

año, cualquiera que fuese la duracion de este. Así para los romanos que suponian el año de 360 dias, la duracion de un mes era al principio de 30 dias justos; pero siendo realmente la duodécima parte de un año trópico $30^{d},19^{h},9^{m}$, la suma de las fracciones sobrantes en todos los meses fué causa de que se añadiese seis dias más al año, distribuidos de modo que Marzo, Mayo, Julio, Octubre, Diciembre y Enero tuvieran 31 dias; así es que el año venia á tener 366 dias; pero siendo este demasiado, quitaron un dia al mes de Febrero, que era el último del año, y así vino á tener este mes 29 dias.

144. Los nombres de los meses traen su orígen, ya de los dioses, ya de los emperadores, ya del órden de numeracion. Se llamó *Abril* de *aperio* al mes en que abrian las flores su capullo; *Mayo* del dios *Maius*, *Junio* de *Juno:* los meses siguientes se llamaron por el número de órden *Quintilis, Sextilis, September, October, November, December*. Posteriormente, para honrar á Julio César que reformó el Calendario, el quinto mes *(quintilis)* se llamó Julio, y el sesto *(Sextilis)* llevó el nombre de Agosto en memoria del emperador Augusto, añadiéndose tambien á este mes un dia que se quitó de Febrero. He aquí la razon por qué el mes de Febrero, en los años que no son bisiestos, tiene solo 28 dias. Los otros tres meses, á saber, Enero, Febrero y Marzo, tomaron sus nombres de *Juno, Februa y Marte*, dioses de la antigüedad.

145. Por lo que hace al principio del dia, los atenienses y judíos lo contaban desde el ocaso del sol; esta costumbre fué seguida posteriormente por los austriacos, bohemios, italianos y chinos, dividiéndolo en 24 horas. Los babilonios, persas, sirios, y en general los orientales, empezaban á contar las horas del dia desde la salida del sol, los egipcios y romanos á media noche del mismo modo que lo hacen actualmente los ingleses, franceses, alemanes, españoles, portugueses y americanos, dividiéndolo en dos partes de 12 horas cada una. Los árabes del mismo modo que los astrónomos, lo empiezan al medio dia.

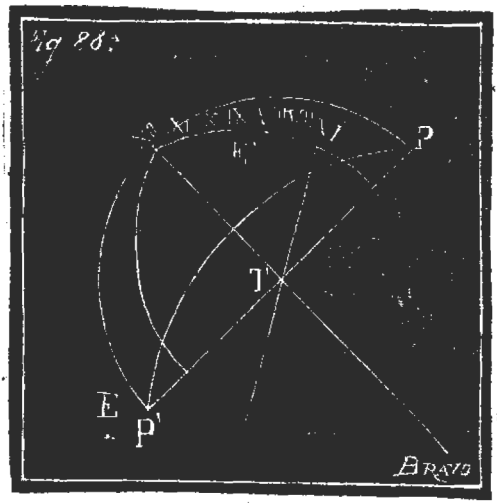
146. Los antigüos marcaban la division del dia en horas, por medio de ampolletas, que constaban de dos conos opuestos al vértice, uno de los cuales estaba lleno de arena; el tiempo necesario para que la arena de un cono cayese toda en el otro, indicaba una fraccion cualquiera del dia, por ejemplo la 24ª ó la 48ª es decir, una hora ó media hora. Había tambien otros aparatos, como el clépsidras etc. pero omitimos hablar de ellos detenidamente, ya porque no se usan, ya porque esto nos alejaría demasiado del objeto principal.

CAPITULO II.

§ 1.

De la medida del tiempo.

147. La exacta medida del tiempo es el fundamento de toda la Astronomía, pues se deduce de la rotacion de la esfera celeste que es uniforme. Sea PP′ (fig. 88) el eje del mundo, EE′ el ecuador, que podemos dividir en 24 partes iguales, correspondientes á las 24 horas en que está dividido el dia. El movimiento diurno de rotacion podrá facilmente medirse por el movimiento uniforme de un punto cualquiera, tomado sobre el ecuador, siendo ángulo horario el formado por el plano meridiano con el plano del círculo de declinacion que pasa por dicho punto. Es claro que este ángulo es medido por el arco del ecuador interceptado por los dos círculos máximos. Este punto recorrerá los 360° en las 24 horas, y por consiguiente 15° por hora. Por lo tanto, el tiempo podrá expresarse en arcos, y los arcos en tiempos, por ser proporcionales. Los astrónomos toman por principio del dia que se llama *sideral* aquel instante en que el punto de interseccion de la eclíptica con el ecuador en el equinoccio de Aries pasa por el meridiano. Pero como este punto es invisible, toman el paso de una estrella fija por el meridiano, cuya ascension recta está ya determinada. Un reloj que marque 24 horas en el tiempo que una misma estrella fija emplea para salir del meridiano y volver al mismo, se dice que anda con el tiempo sideral. Este reloj en los usos de la vi-



da civil no serviria, pues para medir el tiempo civil se hace uso del sol, y como éste, además del movimiento que es comun á las estrellas, tiene un movimiento propio que tampoco es uniforme, segun hemos dicho [cap. I § 3 del sol], se sigue que un reloj que marcara el tiempo sideral no podria marchar con el sol. Para que un reloj pueda marcar el tiempo civil, pues es necesario que tenga por base el movimiento diurno del sol, porque habiendo determinado los astrónomos las irregularidades del movimiento propio del sol, por medio de algunas correcciones, han supuesto un tiempo solar uniforme, al que han dado el nombre de *tiempo medio*, del cual vamos á dar una idea en el siguiente párrafo.

§ 2.
Tiempo medio.

148. Hablando de la desigualdad de los dias solares, hemos indicado que no siendo uniforme el movimiento del sol en longitud, y no correspondiendo á cada grado de longitud un arco igual en el ecuador, para tener una longitud media, era necesario suponer un sol imaginario ó ficticio, el cual se moviera uniformemente sobre la eclíptica, y la diferencia entre la longitud verdadera y la longitud media nos daba la ecuacion del centro. Así mismo; como el movimiento del sol verdadero con relacion al ecuador no es uniforme, podemos suponer otro sol tambien ficticio, el cual recorra en 24 horas el círculo ecuatorial con movimiento uniforme. Este tercer sol que lleva el nombre de *sol medio*, no estando sujeto á ninguna causa de desigualdad, sirve para determinar el tiempo medio. El momento del pasaje de este sol medio por el meridiano se llama *mediodia medio* y *dia medio* el tiempo trascurrido entre dos pasos seguidos del sol medio por el meridiano. Más como este sol medio no es real, y por lo tanto no puede verse, los astrónomos suplen á ello, calculando la cantidad en que se adelanta ó se atrasa cada dia el sol verdadero al sol medio. Observando la posicion verdadera del primero, y deduciendo la diferencia, se obtiene el paso del sol medio por el meridiano. La cantidad calculada para traducir al tiempo medio el tiempo verdadero se llama *ecuacion del tiempo*. Resulta de este artificio: 1º que la ascencion recta del sol medio, es siempre igual á la longitud media del sol ficticio que recorre uniformemente la eclíptica [bien entendido que es necesario suponer que los dos soles imaginarios pasen simultáneamente por el punto fijo en Aries, orígen del cómputo], pero es necesariamente diferente de la ascencion recta verdadera y de la longitud verdadera: 2º que la ascencion recta verdadera del sol, es la medida del tiempo medio. Como el sol medio ya precede, ya sigue al sol verdadero, la ecuacion del tiempo, ó sea, la di-

ferencia entre el tiempo verdadero y el tiempo medio ya será positiva, ya negativa. La tabla siguiente dá la ecuacion del tiempo.

	Dia					Dia.				
149. Enero.		1	0h.	3m.	58s.	Julio.	1	0h.	3m.	27s.
		11	0.	8.	21.		11	0.	5.	8.
		21	0.	11.	43.		21	0.	6.	3.
Febrero.		XI	0.	13.	57.	Agosto.	1	0.	6.	0.
		11	0.	14.	34.		11	0.	4.	56.
		21	0.	13.	54.		21	0.	2.	54.
Marzo.		1	0.	12.	34.	Setbre.	1	11.	59.	59.
		11	0.	10.	12.		11	11.	56.	30.
		21	0.	7.	19.		21	11.	52.	59.
Abril.		1	0.	3.	55.	Octbre.	1	11.	49.	37.
		11	0.	1.	2.		11	11.	46.	45.
		21	11.	58.	38.		21	11.	44.	41.
Mayo.		1	11.	56.	56.	Novbre.	1	11.	43.	42.
		11	11.	56.	09.		11	11.	44.	12.
		21	11.	56.	18.		21	11.	46.	5.
Junio.		1	11.	57.	19.	Dicbre.	1	11.	49.	18.
		11	11.	59.	16.		11	11.	53.	34.
		21	0.	1.	23.		21	11.	58.	25.

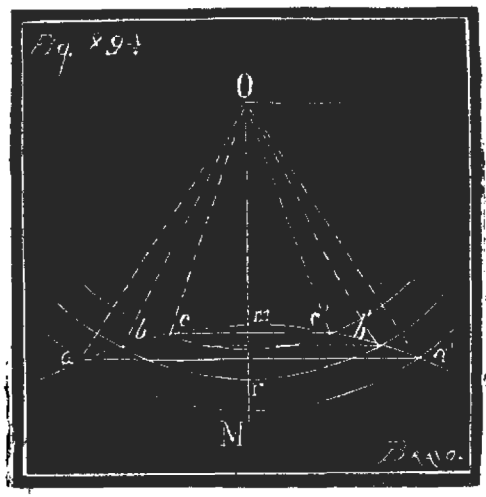
Esta tabla indica la hora que debe marcar un reloj arreglado segun el tiempo medio, cuando el sol verdadero pasa por el meridiano. Así, por ejemplo, observando por medio de la sombra, el paso del sol por el meridiano el 11 de Noviembre, en ese instante el reloj debe señalar las $11^h,44^m$ lo que quiere decir que, para que el sol medio pase por el meridiano, faltan todavía 17 minutos, ó sea que faltan 17 minutos para las 12 horas del reloj, ó sea el medio dia. Si se tratara de algun dia que no se halle en la tabla, una simple operacion aritmética haria encontrar el número exacto. Sea verbigracia, el 25 de Marzo, hallándose éste entre los límites $0,^h7,^m19^s$ y $0^h,3^m,55$, cuya diferencia es $3^m,24^s = 204^s$, estos, divididos por los 11 dias, dan por término medio $18^s,6$ para cada dia. Por lo tanto, multiplicando $18^s,5$ por 4 [$=72^s,20$], y restándolo de $0^h,7^m,19^s$, resulta $0^h,6^m,6^s$ para la ecuacion del tiempo en 25 de Marzo. De la misma tabla resulta que esta ecuacion es positiva desde el 1º de Setiembre hasta el 24 de Diciembre y desde el 15 de Abril al 15 de Junio; y negativa desde el 15 de Junio al 1º de Setiembre y del 24 de Diciembre al 15 de Abril: es nula cuatro veces al año, á saber, el 15 de Abril,

15 de Junio, 1º de Setiembre y 24 de Diciembre. La mayor diferencia entre el tiempo medio y el verdadero, para el primer periodo, tiene lugar el 2 de Noviembre, y llega á $+ 16^m,18^s$; en el segundo periodo es de $+ 3^m,44^s$ correspondiente al 14 de Mayo: en el tercer periodo llega á $— 6^m,10^s$ el 28 de Julio, y finalmente en el cuarto periodo correspondiente á 11 de Febrero llega á $— 14^m,34^s$.

§ 3.

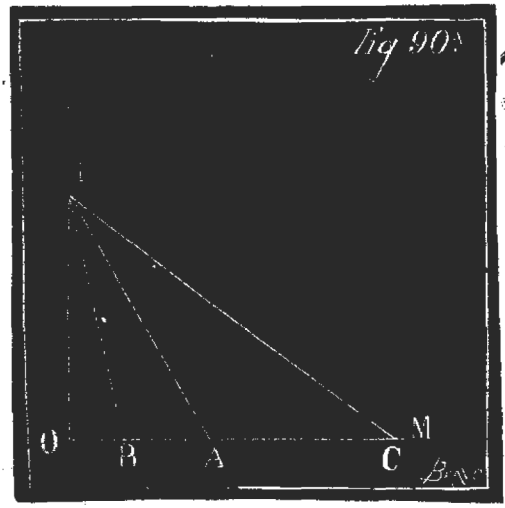
Línea meridiana.

150. Los cuerpos alumbrados por el sol, proyectan una sombra cuya longitud depende de la altura del sol sobre el horizonte, y está en razon inversa de dicha altura. Los antigüos que no tenian instrumentos tan perfectos como los modernos, estudiaban la marcha del sol por medio de un estilo vertical, que llamaron *gnómon* del griego (*γνωμι conocer*), el cual estando fijo sobre un plano horizontal, dá á conocer la hora del paso del sol por el meridiano. La sombra que proyecta el gnómon á la salida del sol es infinita, disminuye hasta el medio dia y aumenta en seguida para ser de nuevo infinita á la puesta del sol. De aquí nace un método fácil, para conocer por medio de la sombra el instante del paso del sol verdadero por el meridiano, trazando una línea meridiana sobre un plano horizontal. Esta línea por lo dicho representará la interseccion del plano meridiano con el plano horizontal. Al rededor del pié del gnómon [fig. 89], cualquiera que sea su altura, ó sea del punto O como centro, y al lado opuesto al sol, describamos sobre el plano horizontal tres ó mas semicírculos concéntricos *cmc'*, *bnb'*, *apa'*, y marquemos los puntos *abc* en donde la extremidad de la sombra cae sobre las curvas descritas, antes del medio dia y los puntos *c'b'a'*, despues del medio dia. Teniendo el sol sensiblemente la misma altura cuando está á igual distancia por una y otra parte del plano meridiano, se obtendrá la línea meridiana, trazando la bisectriz comun OM

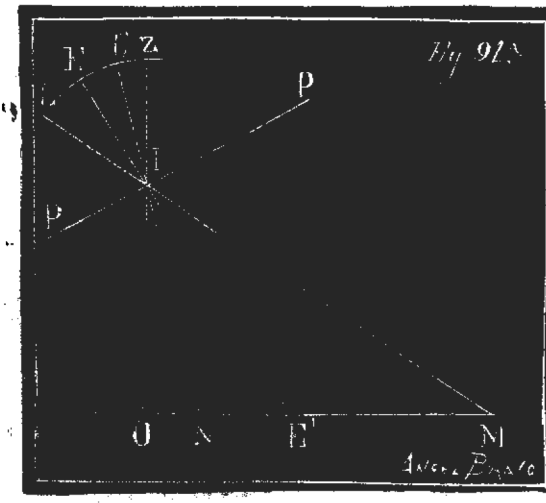


de los ángulos aOa', bOb', cOc'. Al dia siguiente, en el momento en que la sombra del gnómon cae sobre la línea meridiana, se verifica el paso del sol verdadero por el meridiano: añadiendo la correccion de la ecuacion del tiempo se tendrá la hora del tiempo medio.

Si se observa la longitud de la sombra al medio dia verdadero en los diferentes dias del año, podrá determinarse la sombra máxima y mínima de los solsticios y de los equinoccios. Sea OI [fig. 90] el gnómon, OM la línea meridiana; el solsticio de verano tendrá lugar cuando la sombra OB es mínima, y el solsticio de invierno cuando es máxima la longitud de la sombra OC. Si se traza una bisectriz del ángulo BIC, se tendrá OA que representa la longitud de la sombra en los equinoccios. La determinacion de dicha longitud en los equinoccios es bastante exacta, porque cerca de esa época dicha longitud varía rápidamente de un dia á otro, y en el dia mismo de los equinoccios la extremidad de la sombra, describe una línea recta perpendicular á la línea meridiana, pero la determinacion del dia de los solsticios deja incertidumbre, porque la variacion de la sombra en esa época es casi insensible. El plano trazado por IA normalmente al plano meridiano, coincide con el plano del ecuador, el ángulo IAO indica la inclinacion del ecuador sobre el horizonte. El ángulo complementario OIA es la altura del polo ó la latitud del lugar; finalmente el ángulo BIA dá la oblicuidad de la eclíptica. Una pequeña demostracion aclarará todo lo dicho. Sea OI [fig 91] el gnómon, sea ZL'L un arco de meridiano que abraze el zénit Z y el trópico LL' límites de las posiciones del sol en el curso de un año. Como los puntos L y L' representan la declinacion máxima del sol, sea positiva sea negativa, se sigue que el sol en sus pasos por el meridiano, recorrerá solamente el arco LEL', cuyos límites L y L' no puede pasar: el punto E representa el equinoccio y los puntos L,L' los solsticios. Esto supuesto, coloquemos al sol en L [solsticio



de invierno], la direccion de los rayos luminosos LI por el vértice I del gnómon, producirán sobre el plano horizontal la sombra máxima OM [es máxima por no poder el sol pasar mas allá del punto L]; si suponemos al sol en L′ (solsticio de verano) la direccion de los rayos luminosos L′I por el vértice I del gnómon producirá sobre el mismo plano horizontal la sombra mínima ON. Entre estos extremos si el sol se halla en el punto central E, es decir, en el Ecuador, la direccion de los rayos luminosos EI determinarán en E′ la longitud de la sombra en los equinoccios. Ahora, como todos los ángulos formados por las diferentes sombras en el vértice del gnómon son opuestos á los formados por la direccion de los rayos luminosos del sol, se sigue que son respectivamente iguales; por tanto, los ángulos NIE′,E′IM representarán la oblicuidad de la eclíptica = 23°,28′: el ángulo OIE′=ZIE [distancia zenital del ecuador] representará la latitud del lugar, ó la altura del polo sobre el horizonte, y la recta IE′ determinará la inclinacion del plano ecuatorial. Si por el vértice I se traza una perpendicular PP′ á dicha recta, tendremos representada la direccion del eje del mundo, y por lo tanto la posicion de los polos.



151. No será fuera de lugar resolver aquí algunos problemas que dependen de la longitud de la sombra del gnómon.

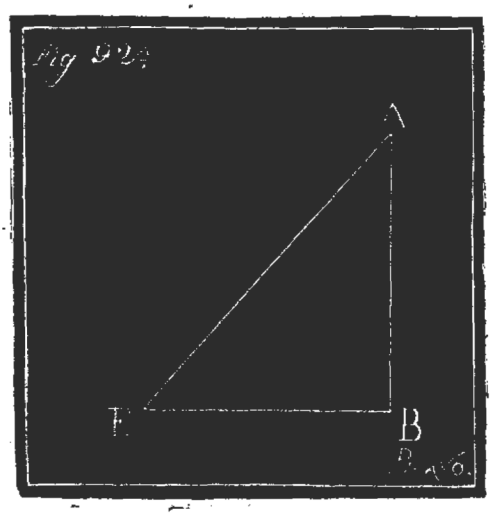
Problema 1º *Dada la altura del gnómon* = $0^m,042$, *y la longitud de la sombra proyectada* = $0^m,034$, *hallar la altura del sol sobre el horizonte al medio dia.*

Para resolver este problema, bastará hallar el valor del ángulo AEB (fig. 92) que siendo complemento del ángulo EAB distancia zenital del sol, será la altura del sol sobre el horizonte. Para esto siendo AB = $0^m,042$, y EB = $0^m,034$, será: tg. AEB $= \frac{AB}{EB} = \frac{0^m,042}{0^m,034}$:

tomando los logaritmos resulta: log. tg. AEB=log. AB—log. EB, ó sea log. tg. AEB=log. $0^m,042$—log. $0^m,034$: ejecutando las operaciones resulta:

$$\begin{aligned} \text{log. } 0^m,042 &= 8.623249 \\ -\text{log. } 0^m,034 &= 8.531478 \\ \text{log. tg. AEB} &= \overline{0.091771} \end{aligned}$$

luego AEB=51°,00′,32″,8. Esta será la altura del sol sobre el horizonte.



Problema 2º *Hallar la latitud del lugar por medio de la máxima y mínima sombra.*

Para resolver este problema, bastará hallar el valor del ángulo EAB (fig. 93), que es la distancia zenital del ecuador, igual á la latitud del lugar. Sea AB la altura del gnómon, BC la longitud de la sombra mínima, y BD la de la máxima. De los triángulos ABC y ABD conociéndose los lados AB,BC,BD tendremos: tg. CAB $= \frac{BC}{AB}$ y tg. DAB $= \frac{DB}{AB}$. Y suponiendo que dichos ángulos representan la distancia máxima y mínima zenital del sol en un año; el plano del ecuador deberá dividir en dos partes iguales el ángulo DAC, pasando por el punto E sobre la línea meridiana BM. Será, pues, la distancia zenital del ecuador expresada por

$$\text{EAB} = \frac{\text{CAB} + \text{DAB}}{2}; \text{en efecto:}$$

$$\text{EAB} = \text{CAB} + \text{EAC y EAB} = \text{DAB} - \text{EAD},$$

sumando, resulta 2EAB = CAB + EAC + DAB — EAD, de aquí siendo EAC = EAD, será por fin EAB $= \frac{\text{CAB} + \text{DAB}}{2}$. Para hallar el valor de CAB y DAB, sabemos que

$$\text{tg. CAB} = \frac{\text{BC}}{\text{AB}}, \text{ y tg. DAB} = \frac{\text{DB}}{\text{AB}}$$

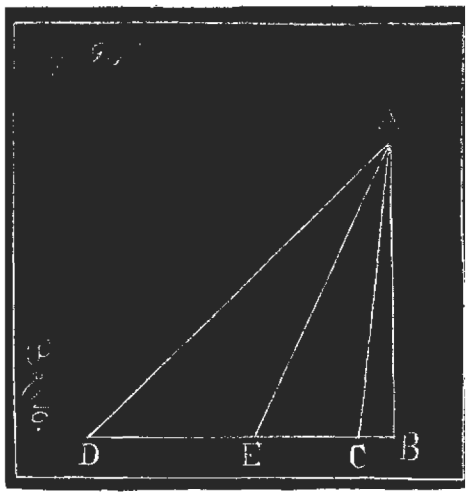
pues que BC = 0^m,0107, como suponemos, DB = 0^m,0877, y AB = 0^m,0572, operando por logaritmos resulta:

Para la sombra mínima.	Para la sombra máxima.
log. 0^m,0107 = 8.003348	log. 0^m,0877 = 8.943088
—log. 0. 0572 = 8.757396	—log. 0. 0572 = 8.757396
log. tg. CAB = 9.245952	log. tg. DAB = 0.185692
CAB = 9°,59′,31″	DAB = 56°,53′,31″

pero siendo

$$EAB = \frac{CAB + DAB}{2} \text{ será } EAB = \frac{9°,59',31'', + 56°,53',31''}{2}$$

lo que dá EAB = 33°,26′,31″, que es la latitud pedida.



PROBLEMA 3º *Dada la latitud del lugar* = 33°,26′,31″ *y la altura del gnómon* = 0^m,0572, *hallar la longitud de la sombra, máxima y mínima.*

Siendo EAB = 33°,26′,31″, será DAB = 33°,26′,31″ + ω (es ω la oblicuidad de la eclíptica), y CAB = 33°,26′,31″— ω: por otra parte, DB = AB. tg. DAB, y CB = AB. tg. CAB: Sustituyendo los valores;
será: *Para la sombra máxima* DB = AB tg. (33°,26′,31″+ω)

Para la sombra mínima CB = AB tg. $(33°,26',31''-\omega)$,
ó sea DB = $0^m,0572 \times$ tg. $56°,53',31''$
y CB = $0^m,0572 \times$ tg. $9°,59',31''$

Por lo tanto tendremos:

log. $0^m,0572$ =	8.757396	log. $0^m,0572$ =	8.757396
+log. tg. $56°,53'31''$ =	0.185692	+log. tg. $9°59'31''$ =	9.245952
log. DB =	8.943088	log. CB =	8.003348
DB =	$0^m,0877$	CB =	0^m0107

PROBLEMA 4º *Hallar la latitud de un país por medio de la sombra en un dia cualquiera, conociendo la declinacion del sol.*

Sabemos que la latitud de un lugar está representada por el ángulo que forma el plano del Ecuador con el vértice del gnómon, cualquiera que sea su altura, es decir, por el ángulo EAB [fig. 93]. La sombra proyectada por el gnómon puede ser mayor ó menor que dicho ángulo, pero siempre entre los límites C y D que representan la declinacion máxima del sol. Siendo esto así, si á la longitud de la sombra observada añadimos la declinacion del sol, positiva ó negativa, tendremos la latitud del lugar. En efecto, siendo la distancia zenital del sol (que en este caso está representada por la longitud de la sombra) siempre igual á la latitud del lugar más ó ménos la declinacion [Lib. II, Cap. I, § 8º], lo que manifiesta la fórmula $Z = \lambda \pm \delta$, resulta que llamando M la longitud de la sombra, podrá resolverse el problema por la fórmula $\lambda = M \pm \delta$.

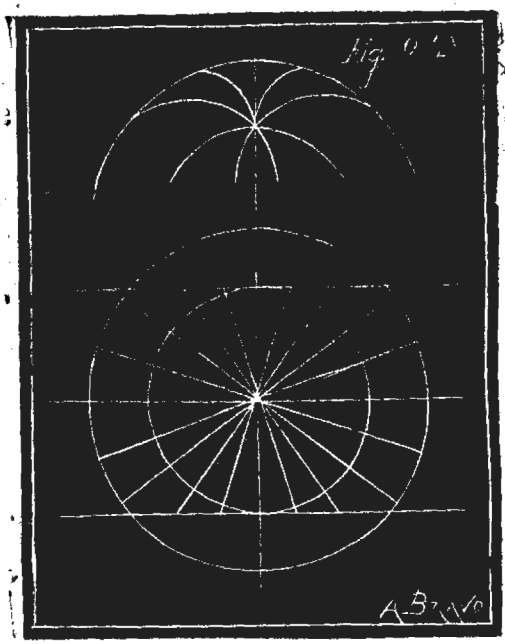
La aplicacion práctica del problema se deja á los aficionados. Los problemas enunciados son el fundamento sobre que se apoya la construccion de los cuadrantes solares, de que vamos á hablar.

§ 4.

Gnomónica.

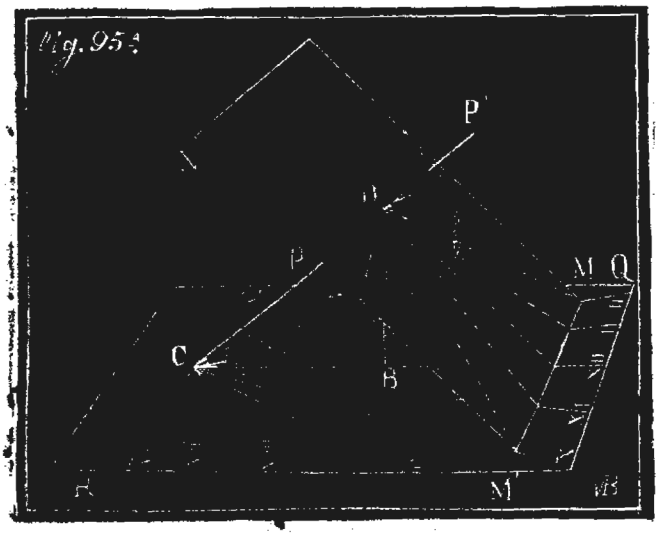
152. Esta es aquella parte de la ciencia astronómica que enseña el modo de construir los cuadrantes solares. Trataremos aquí del modo práctico, indicando solo el principio sobre que se funda. Hay tres especies de cuadrantes: 1º ecuatoriales: 2º horizontales: 3º verticales. Los primeros se construyen sobre un plano que coincide con el plano del Ecuador, y verificándose esta condicion, pueden servir para cualquiera latitud. Los segundos se construyen sobre un plano horizontal, y no pueden servir sino para aquella latitud en que se hallan. Los últimos se trazan sobre un plano fijo vertical que se halle expuesto al lado del sol. Daremos á conocer cada una de las tres especies lo más brevemente que se pueda.

153. *Cuadrante ecuatorial.* Este cuadrante, que se construye sobre un plano paralelo al plano del Ecuador, tiene por gnómon un estilo que coincide con el eje del mundo, y por lo tanto, su vértice marcará la posicion del polo. Como por el vértice del gnómon pueden pasar todos los meridianos que se quieran, pues todos los meridianos pasan por el polo, bastará solamente proyectar sobre el plano los meridianos que distan uno de otro 15° [fig. 94]: estos meridianos proyectados sobre el plano, que vienen á ser los radios del círculo, serán las líneas horarias, pudiéndose, por lo dicho, tomar cualquiera de ellas por línea meridiana. Esta construccion se funda en el principio de que, moviéndose el círculo horario del sol uniformemente al rededor del eje del mundo, su trazo sobre el ecuador se mueve tambien uniformemente, describiendo 15° por hora. Si este cuadrante tuviera que servir para una latitud menor que 90°, seria necesario: 1º que la posicion del plano tuviera una inclinacion que formara con el plano horizontal del lugar un ángulo igual al complemento de la latitud: y 2º que deberia tener dos superficies paralelas y opuestas, en cada una de las cuales estuviera descrito un semicírculo con las líneas horarias correspondientes, pues el sol se halla seis meses sobre el ecuador, y otros seis meses debajo de él, alumbrando en cada una de estas épocas uno de los polos.



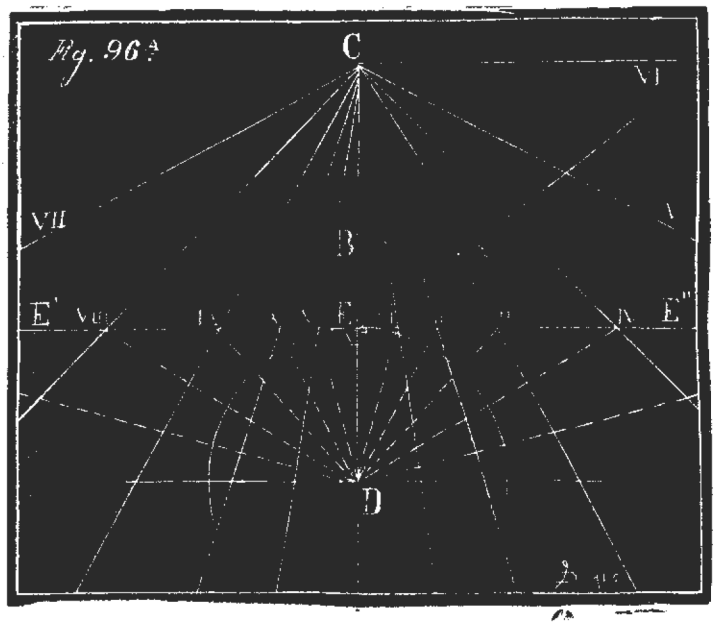
154. *Cuadrante horizontal.* El cuadrante horizontal no es más que una proyeccion del cuadrante ecuatorial sobre un plano horizontal, que forma con el plano del Ecuador un ángulo igual al complemento de la latitud del lugar. Sea MN (fig. 95) un cuadrante ecuatorial y RQ el plano horizontal. Prolónguese la recta PP′ que

representa el eje del mundo, hasta que encuentre en C' al plano horizontal, y las líneas O_1 O_2 O_3 hasta encontrar la interseccion del plano ecuatorial con el horizontal MM'. Uniendo los puntos XII, I, II etc. con el centro C, se tendrán en proyeccion sobre el plano ho-



rizontal las líneas horarias CXII, CI, CII etc. Esto supuesto, sea CD la línea meridiana (fig. 96) hallada segun el método arriba descrito (§ 3º): levántese el estilo AB (en la fig. 95 está representada por la recta perpendicular BO) sobre la línea meridiana perpendicularmente al plano horizontal. En el vértice de este estilo, supóngase que pasa la recta AC paralela al eje del mundo: ésta atravesará el plano horizontal en el punto C, que se llama centro del cuadrante, y formará un ángulo ACB igual á la latitud del lugar. Por el punto A se trazará un plano indefinido, perpendicular al eje del mundo AC, que representará el plano del ecuador MN de la fig. 95, y encontrará á la línea meridiana en E, cortando el plano horizontal segun la recta E''EE' que en la fig. 95 está representada por la interseccion MM'. Sobre este plano supongamos trazado el cuadrante ecuatorial de la fig. 95, pero de modo que el círculo, cuyo centro es el vértice del gnómon sea tangente á dicha interseccion E''EE', é imaginémonos que gira al rededor de dicha recta sin que varíe la posicion de sus intersecciones con las líneas horarias; en este caso, el centro de dicho cuadrante caerá en D: por tanto, para marcar los puntos en que las líneas horarias cortan á la equinoccial, bastará to-

mar sobre la meridiana una distancia ED = AE. Con este radio descríbase un semicírculo fEg sobre el plano horizontal, y divídase por ambos lados de 15 en 15 grados empezando por la línea meridiana. Trazando los radios por los puntos de division y prolongándolos hasta encontrar á la equinoccial E'E'', se tendrán los puntos de interseccion I, II, III etc. uniendo estos puntos con el centro C del cuadrante, se tendrán las líneas horarias por una y otra parte de la línea meridiana. A la simple inspeccion de la figura, se vé claro



que la línea de las VI viene á ser paralela á la equinoccial. Pueden tambien calcularse los ángulos que cada línea horaria, forma con la meridiana por medio de la fórmula $x = \text{tang. } h. \text{ sen. } \lambda$.

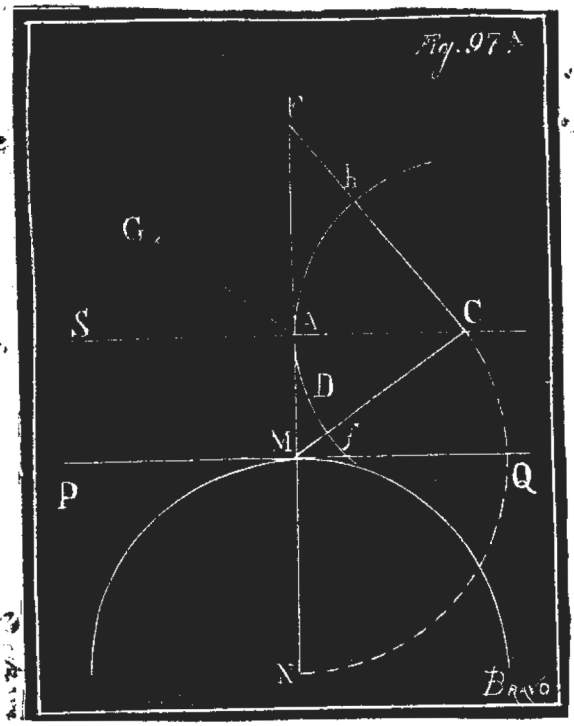
Siendo λ la latitud del lugar, se hará $h = 15° = 30° = 45°$ etc. segun las líneas que se quieren trazar, y se tendrán sucesivamente los valores de los ángulos de las líneas horarias. La posicion del centro del reloj se puede hallar por la fórmula

$$BC = \frac{AB}{\text{tg. } \lambda},$$ y la equinoccial

será determinada por $EB = \frac{AB}{\text{cot. } \lambda}$. Es preciso advertir que las horas

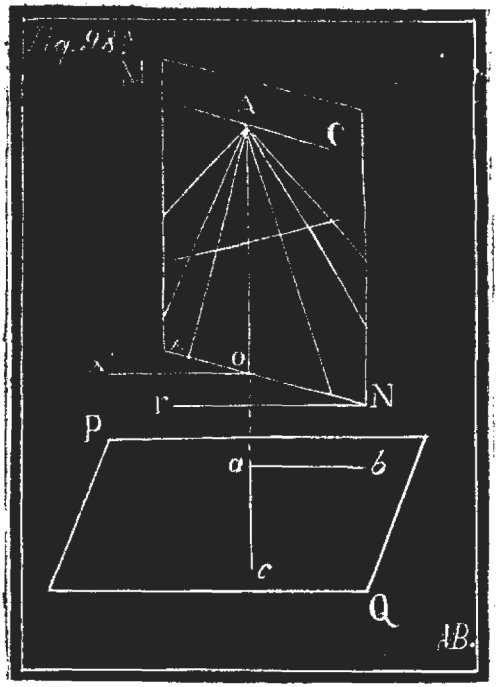
de VI á XII se hallan siempre al lado del Poniente, y las de I á VI de la tarde al lado del Oriente, es decir, al lado opuesto al lugar del sol. Un cuadrante construido para el hemisferio boreal deberia invertirse para el hemisferio austral.

155. *Cuadrante vertical.* Llámase *cuadrante vertical*, el que se construye sobre una pared, que en toda su extension sea bien paralela á la vertical, marcada por un hilo á plomo. Hay dos especies: cuadrante vertical *paralelo*, y vertical *declinante*. Llámase vertical *paralelo* el que marcando la direccion del hilo á plomo, es perpendicular al plano meridiano, ó de otro modo, el que se construye sobre un plano paralelo á otro imaginario, que sea al mismo tiempo perpendicular al plano del horizonte y al del meridiano. Será *declinante* aquel que se construye sobre un plano que, siendo perpendicular al del horizonte, forma un ángulo más ó menos obtuso con el plano del meridiano, y está vuelto más hácia un lado que á otro. Si declina al E. será *declinante oriental*, si al O. se llama *declinante occidental*. Daremos el método para construirlos, cualquiera que sea su declinacion.



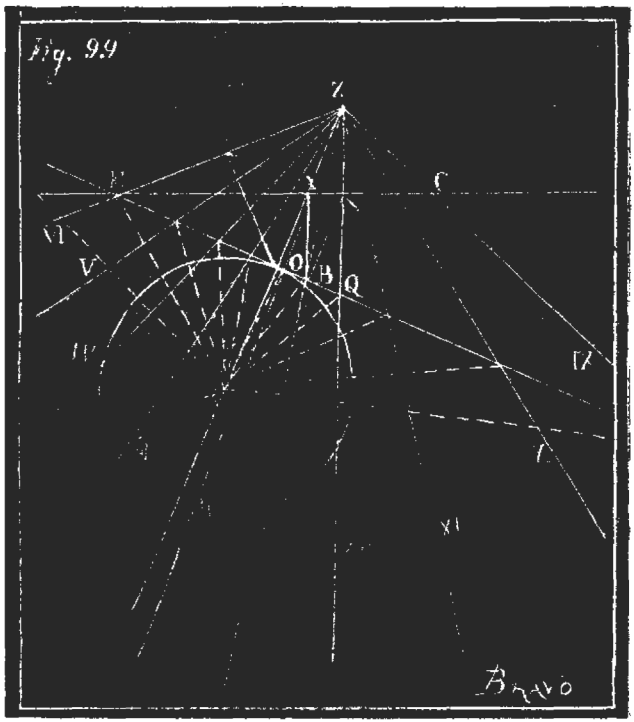
1º *Vertical paralelo.* Sea AG (fig. 97) el gnómon plantado perpendicularmente al plano vertical; por el punto A, pié del gnómon, trázese la horizontal CS, usando para esto un nivel, y por medio de un hilo á plomo, la perpendicular AM: esta será la línea meridiana, pues representa la interseccion del plano meridiano

con el plano vertical perpendicular á él. Desde el punto A, sobre la recta CS que pasa por el pié del gnómon, tómese una distancia AC igual á la altura del gnómon, y desde el punto C como centro, descríbase con un radio cualquiera un arco *hDf*, en el cual se tomará en C un ángulo AC*h*, igual á la latitud del lugar. Sobre la horizontal y debajo de ella, fórmese otro ángulo ACM, igual al complemento del primero, de modo que *h*CM = 90°. Como la recta C*h* representa la direccion del eje del mundo, la recta CM representará la direccion del plano ecuatorial. Prolongadas las rectas C*h*,CM hasta encontrar la meridiana en los puntos F y M, el primero F será el centro del reloj, el segundo M indicará sobre la meridiana el punto por donde pasa la equinoccial: por lo tanto bastará trazar por dicho punto la recta indefinida PQ perpendicularmente á la línea meridiana AM. Desde el punto M tómese una distancia MC con el compás y trasládese sobre la meridiana debajo de la equinoccial PQ, describiendo el arco CQN. El punto N será el centro del círculo, que representará la proyeccion del cuadrante ecuatorial sobre el plano vertical. No habrá más que dividir dicho círculo de 15' en 15°, como se hizo en la construccion del cuadrante horizontal, y describir así mismo las líneas horarias, para tener el vertical paralelo.



2º *Vertical declinante.* En esta especie de cuadrantes, es necesario ante todo hallar la declinacion del plano. Bastará para ello encontrar la direccion de la línea meridiana en un plano horizontal, y trazando una perpendicular á dicha línea, valuar el ángulo que la direccion de la pared forma con esta línea. Así, sea MN la pared vertical: [fig. 98]: sobre el plano horizontal PQ, hállese segun el

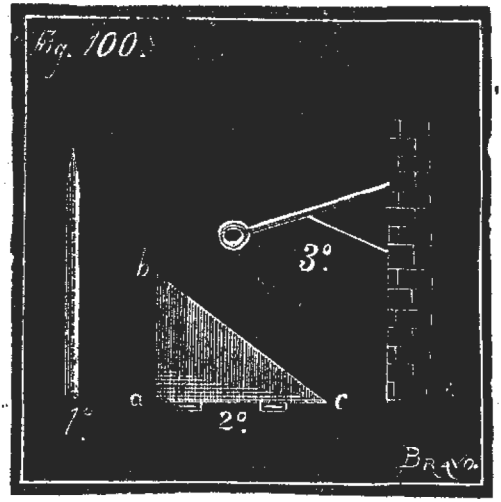
método ordinario, la línea meridiana *ac*, por medio del gnómon *ab*; la perpendicular N*r*, ó su paralela *ox'*, hará manifiesta la declinacion de la pared, pudiéndose medir el ángulo *r*N*o* = *x'ox*. Hallada la declinacion de la pared, que fácilmente se conocerá si es oriental ó occidental, sea A [fig. 99] el pié del gnómon: trazada por este pié



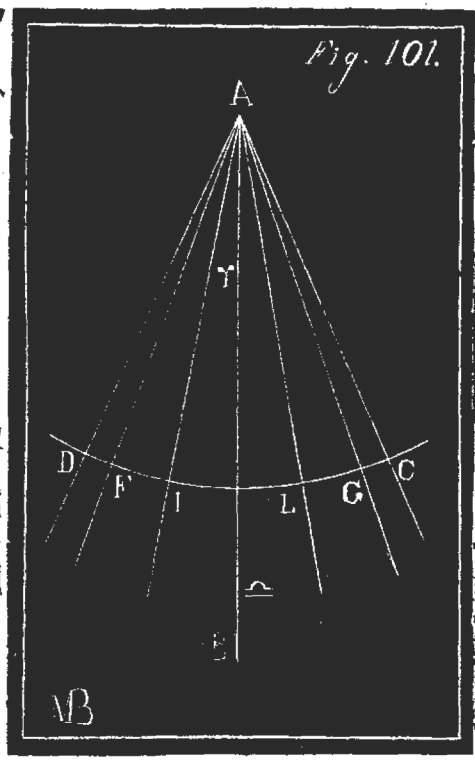
con el nivel la horizontal AC, tómese AB, igual á la altura del gnómon, perpendicularmente á la horizontal AC. En el punto B fórmese un ángulo ABX, igual á la declinacion de la pared, y hácia el lado á donde declina la pared [en la fig. se supone declinar al Oeste] trázese por el punto X, usando de nivel ó de un hilo á plomo, la perpendicular ZXII: ésta representará la interseccion del plano meridiano con el plano vertical, y por lo tanto será la línea meridiana. Tómese con el compás una distancia XB y traspórtese sobre la horizontal en C: en dicho punto fórmese un ángulo XCZ igual á la altura del polo, ó sea, á la latitud del lugar; quedará con esto determinado el centro del reloj en Z. Bájese por el punto C la recta CQ perpendicular á la recta CZ, el punto de interseccion Q con la li-

nea meridiana, será un punto perteneciente á la línea equinoccial. Desde la extremidad B trázese así mismo la recta BE perpendicular á la BX, el punto E de interseccion con la horizontal AC, será otro punto perteneciente á la equinoccial: uniendo E con Q, tendremos representada la interseccion del plano ecuatorial con la pared declinante, y por consiguiente la línea equinoccial. Del centro Z del cuadrante trázese la recta ZA, la cual prolongada cortará á la equinoccial en el punto O. Esta línea, que en los cuadrantes horizontales, pasando por el centro del reloj y el pié del gnómon se confunde con la línea meridiana, se llama *sustilar*. En A levántese una perpendicular AD = AB, que es la altura del gnómon, y únase D con Z: la línea DZ representará la direccion del eje del mundo. Desde el punto O tómese, debajo de la equinoccial y sobre la sustilar, una cantidad OR = OD; el punto R será el centro del círculo del cuadrante ecuatorial proyectado sobre el plano de la pared declinante. Es de advertir que, para averiguar y tener una prueba de que el cuadrante está bien construido debe observarse, si las rectas DO y ZD son perpendiculares entre sí, como tambien las rectas ZO y EQ. Haciendo centro en R, descríbase el círculo SOS′, únase el centro R con los puntos E y Q, y las dos rectas RE y RQ serán perpendiculares entre sí, y prolongadas, dividirán el círculo en cuatro cuadrantes: háganse las divisiones de 15° en 15°, y continúese la construccion como en los cuadrantes horizontales.

156. En los cuadrantes descritos, la extremidad de la sombra proyectada por el gnómon es la que vá marcando la hora; pero si el gnómon se construye en forma de un triángulo, cuya hipotenusa representa la direccion del eje del mundo, dicha hipotenusa marcará la hora con su sombra en toda su extension. A veces se levanta sólo una varilla de hierro que tiene en su extremidad un pequeño disco, en cuyo centro hay un orificio por donde pueden pasar los rayos solares; estos son los que marcan en este caso la hora. La [fig. 100]

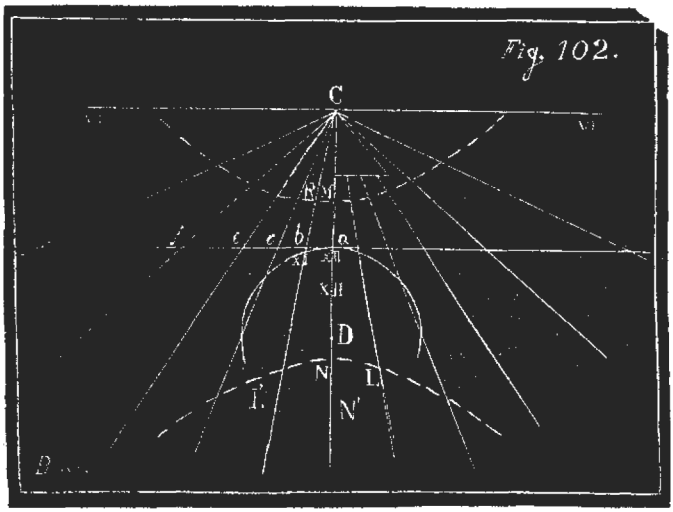


representa la forma que pueden tener los gnómones, cualquiera que sea el cuadrante. 1º Estilo vertical cilíndrico: 2º Triángulo, cuya hipotenusa *bc* coincida con la direccion del eje del mundo, y en que el ángulo *acb* sea igual á la latitud del lugar: 3º varilla aislada, cuya posicion sea paralela al eje del mundo. La extremidad de dicha sombra, marcando la hora, describe cada dia una curva que representa la seccion de un cono sobre el plano horizontal. Este cono es opuesto al vértice del que describe el rayo solar, que pasa por el vértice del gnómon, y tiene por base el paralelo diurno, descrito por el sol en la esfera celeste. La seccion de este cono en el polo es un círculo; en el círculo polar una elipse; en el ecuador una línea recta, y las latitudes intermedias una hipérbole más ó ménos abierta, segun la mayor ó menor declinacion del sol; de modo que siendo la declinacion del sol = 0, dicha seccion será tambien una línea recta. De aquí nace que suele trazarse en los cuadrantes solares dichas curvas, á lo ménos en los límites de la sombra máxima y mínima en los solsticios. Daremos aquí un método fácil para trazar las hipérboles, el cual se reduce al problema siguiente:



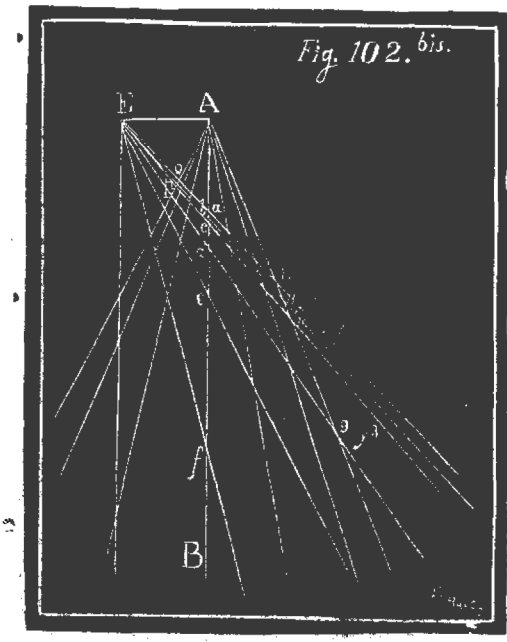
157. *Hallar los paralelos de los signos del Zodiaco.* Trázese una recta indefinida AB [fig. 101]. En el punto A fórmense por los dos lados de dicha recta dos ángulos iguales á 23°, 28′ cada uno; los que representan la oblicuidad de la eclíptica. Será pues BAC = BAD = 23°, 28.′ Así mismo fórmese el ángulo BAF = = BAG = 20°,12′, y los ángulos BAI = BAL = 11°,30′. Las líneas trazadas para formar dichos ángulos representarán los paralelos de los signos del zodiaco,

pues los ángulos representan las declinaciones del sol al pasar de uno á otro signo. La línea AB representa Aries y Libra, la AI el Toro y la Vírgen, la AF los Gemelos y el Leon, la AD el Cáncer, la AI el Escorpion y los Peces, la AG el Sagitario y el Acuario, y AC el Capricornio. La figura así construida se llama radio de los signos y ordinariamente suele construirse sobre un carton aparte, á fin de que pueda servir para cuadrantes de cualquiera magnitud. Esto supuesto, sea un cuadrante horizontal cualquiera [fig. 102]. En el punto A del radio de los signos [fig. 102 bis] le-



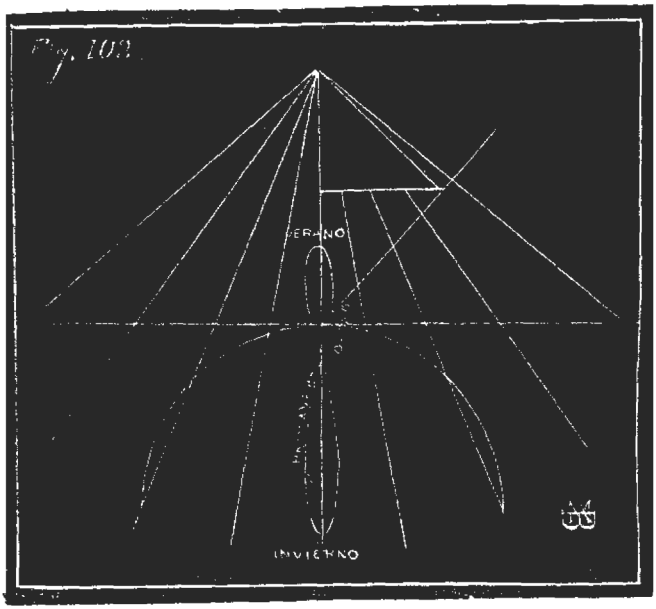
vántese una perpendicular AE, cuya longitud sea igual á la recta CE, que es la distancia del centro del cuadrante á la extremidad del gnómon. De E bájese una paralela á AB que representará la línea de las seis. Desde el punto D, centro del círculo que ha servido para hallar los puntos de encuentro de las líneas horarias con la equinoccial, tómense las distancias D*a*, D*b*, D*c*, etc. á la equinoccial en cada una de las líneas y traspórtense del punto A [fig. 102 bis.] á la AB, una en seguida de otra A*a*, A*b*, A*c*, etc. Por todos estos puntos partiendo de E, hágase que pasen las líneas E_{12}, E_{11}, E_{10}, E_{9}, etc: éstas representarán las líneas de las horas. Para colocar los paralelos de los signos en el cuadrante, procédase del modo siguiente: Desde el punto E tómense con el compás las dis-

tancias de las líneas de las horas á las líneas de los paralelos respectivos y traspórteseles al cuadrante, tomándolas desde el centro C. Así pues, se hará CM = E*o*, C_{XII} = E*a*, CN = E_{12} para la línea meridiana; para la línea de las XI se tomará CR = E*p*, C_{XI} = E*b*, CL = E_{11}, cuyos valores servirán tambien para la línea de la 1^h y así se irá recorriendo sucesivamente todas las horas. Uniendo despues todos los puntos pertenecientes á la misma especie quedará construida la hipérbole de la sombra máxima y mínima de los solsticios; obrando del mismo modo con las otras líneas intermedias de los paralelos, podrán describirse las hipérboles de los varios meses del año, en los dias en que el sol saliendo de un signo del zodiaco, entra en otro.



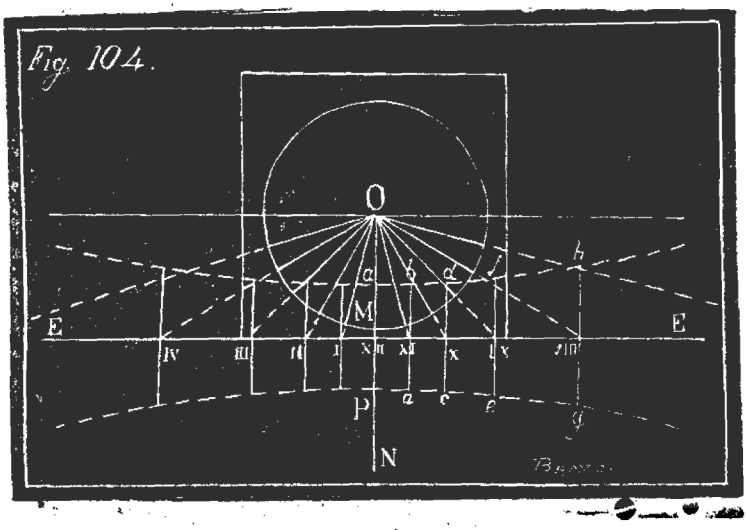
158. Todos los cuadrantes solares que hemos descrito, dán necesariamente el tiempo verdadero. Ahora, si se quisiera arreglar un reloj por un cuadrante adoptando el tiempo medio, habria que recurrir á la tabla de la ecuacion del tiempo. Con todo, en el mismo cuadrante la sombra del gnómon puede tambien marcar el medio dia segun el tiempo medio. Para esto, calcúlese la altura del sol y la longitud de la sombra correspondiente á cada dia del año, en el momento en que un reloj debe indicar el medio dia en tiempo medio, y márquense otros tantos puntos sobre el cuadrante. Todos los puntos así señalados quedarán situados parte al oriente, parte al occidente de la línea meridiana verdadera, segun que el medio dia se atrasa ó adelanta al medio dia verdadero. La série de todos estos puntos formará una línea curva entrante y saliente parecida á la forma de un 8 [fig. 103]. Como la extremidad de la sombra pasa dos veces en un dia sobre esta curva, es necesario conocer á cuál de las dos veces pertenece el medio dia del tiempo medio en un dia

determinado. Para evitar cualquiera equivocacion, suelen marcarse sobre dicha curva los nombres de los meses, ó los signos del zodiaco que á ellos corresponden, ó tambien se divide la curva en cuatro partes, que representan las cuatro estaciones, marcándolas con cuatro diferentes colores.



159. *Problema. Construir un cuadrante horizontal para una latitud* = 0°. Usando el método anteriormente expuesto, imaginémonos construido un cuadrante ecuatorial. Sabemos que para una latitud cualquiera, la inclinacion de este cuadrante, forma con el plano horizontal un ángulo complementario de la latitud. Siendo por los datos del problema la latitud = 0°, el ángulo complementario que formará el cuadrante ecuatorial con el plano horizontal será = 90°, es decir, que dado un cuadrante ecuatorial, bastará fijarlo perpendicularmente al plano horizontal y á la línea meridiana, para tener un cuadrante vertical, que para el uso deberá tener dos caras, una expuesta al N. y la otra al S. Más para construirlo sobre un plano horizontal, tendrán que verificarse las siguientes condiciones: el gnómon situado perpendicularmente al plano, coincidirá con el plano del ecuador, y la línea equinoccial pasará por su pié: 2º la proyeccion de las líneas horarias no será otra cosa que séries de puntos que se alejan del vértice del gnómon por ambos lados, formando án-

gulos crecientes en proporcion aritmética cuya razon sea 15°,3°. Siendo = 0° el ángulo de altura del polo sobre el horizonte, el centro del cuadrante se hallará á una distancia infinita, y de consiguiente, las líneas horarias que pasan por los puntos de proyeccion, serán paralelas entre sí y á la línea meridiana y perpendiculares á la línea equinoccial. En efecto, sea MO el gnómon (fig. 104); por su pié en



M trázese la línea EE′ perpendicular á la línea meridiana MN; como esta línea representa la interseccion del plano ecuatorial con el horizontal, será la equinoccial. Haciendo centro en el vértice O del gnómon, descríbase con un radio cualquiera un círculo: divídase éste de 15° en 15° por la parte inferior, empezando por el gnómon á uno y otro lado: únanse estos puntos con el centro O, prolongando los radios hasta encontrar la equinoccial en los puntos I, II. III, XI, X. Trazando sobre dichos puntos las perpendiculares *ab*, *cd*, *ef*, *gh* etc., quedarán marcados sobre el cuadrante horizontal las líneas horarias. Para hallar los límites de la sombra en los solsticios al medio dia, bastará tomar sobre la equinoccial una cantidad MIX = MO, y formando un ángulo MIXP = 23°,28′, el punto P indicará dicho límite, debiendo ser al otro lado MQ = MP. Los demás puntos de las hipérboles se hallarán segun el método indicado anteriormente en el núm. 157. En este cuadrante, por cuanto la mínima distancia zenital del sol en el dia de los equinoccios es = 0°, el gnómon no proyectará sombra alguna al medio dia.

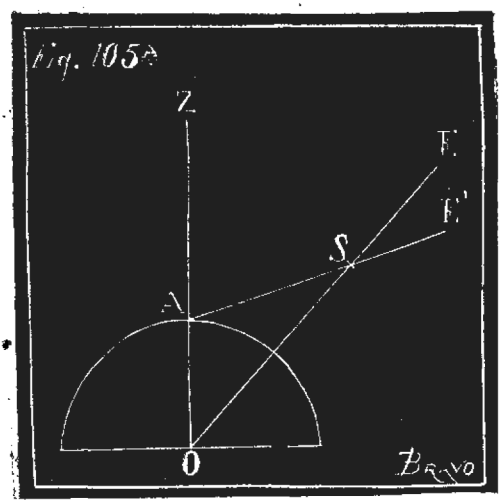
CAPITULO III.

Distancia del Sol á la tierra.

§ 1.

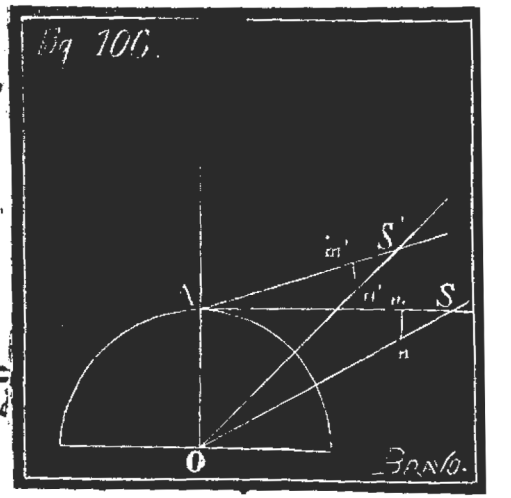
Paralaje.

160. Para conocer la distancia de las estrellas, dijimos que era necesario averiguar la paralaje anual; así mismo, para conocer la distancia del Sol á la Tierra es preciso hallar el ángulo de paralaje, aunque sea de diferente especie. Veamos en qué consiste. Llámase paralaje el cambio de posicion que sufren los objetos celestes por el cambio de posicion del observador en la superficie de la tierra. Sea un observador en O (fig. 105) que dirija la visual á un objeto S; este se verá en la prolongacion y direccion de la línea OS en E. Si el observador, cambiando de posicion pasa al punto A, el lugar en donde aparentemente verá el objeto S, será en E. Este fenómeno es el mismo que se verifica cuando, pasando nosotros de un punto á otro, nos parece que cambian de lugar los objetos cercanos con relacion á los que están más lejos. El ángulo que forman las dos visuales en este cambio de posiciones ESE′ = ASO se llama *paralaje*. Es claro que la paralaje varía: 1º variando la posicion del observador: 2º variando la distancia del objeto. Si suponemos á dos observadores, uno en el centro O de la Tierra, otro en la superficie A, que observen al mismo tiempo el ob-



jeto S, lo referirán á lugares diferentes E y E′: la distancia zenital para uno será ZOS, para el otro ZAS > ZOS una cantidad igual al ángulo OSA. El efecto, pues, de la paralaje en los cuerpos celestes es disminuir sus alturas sobre el horizonte, es decir, aumentar sus distancias zenitales. De lo dicho resulta que la paralaje puede definirse tambien "*el ángulo bajo el cual desde el centro del astro se vé el radio terrestre*", ó en otros términos, paralaje de un astro "*es la mitad del diámetro aparente de la tierra, visto desde el centro del astro* (1)." La paralaje tiene su valor máximo cuando el astro se halla en el horizonte, y se llama entonces *paralaje horizontal;* cualquier otro ángulo de paralaje que se acerca al zenit, se llama *paralaje de altura.* Llámase *geocéntrica* ó *diurna,* cuando los astros se refieren al centro de la tierra, *heliocéntrica* ó *anual,* como la de las estrellas, cuando se refiere al centro del sol. La palabra *paralaje,* usada absolutamente, significa la paralaje *geocéntrica:* siendo ésta máxima en el horizonte, vá disminuyendo hasta el zenit en donde es nula. La paralaje *horizontal ecuatorial* supone un observador situado en el ecuador, y ésta es tambien la que debe servir de base para el observador que esté colocado en cualquiera otra latitud.

161. Puesto que la paralaje de un astro depende de su distancia al centro de la tierra, llamemos *r* el radio terrestre (fig. 106), D la distancia del centro de la tierra al centro del astro S, y *p* la paralaje. Si del punto S, como centro, describimos un arco de círculo á una distancia cualquiera S*m*, tomada por unidad, el pequeño arco *mn* será la medida del ángulo ASO; ahora, pues, que el arco *mn* es infinitamente pequeño, lo podemos considerar como una recta perpendicular á la tangente SA;



(1) Como la distancia de los cuerpos celestes se considera de centro á centro, la paralaje tiene por base el centro de la tierra con relacion á la superficie.

entonces, siendo semejante los dos triángulos que resultan SAO, S*mn*, tendrá lugar la siguiente proporcion:

$$\frac{mn}{Sn}=\frac{OA}{SO}, \text{ de donde } p=\frac{r}{D'} \quad (1)$$

de este modo el ángulo de paralaje se expresa por la relacion del radio terrestre, ó por la distancia del centro de la tierra al centro del astro. Para otro astro S′ tendremos:

$$\frac{m'n'}{S'n'}=\frac{OA}{S'O}, \text{ ó sea, } p'=\frac{r}{D} \quad (2)$$

hallando la razon de estas dos ecuaciones (1) y (2) resulta:

$$\frac{p}{p'}=\frac{D'}{D}$$

lo que manifiesta que la paralaje está en razon inversa de la distancia.

§ 2.

Correccion de la paralaje.

162. Como la posicion aparente de un astro depende de la posicion del observador, y variando por otra parte la posicion misma del observador, no solo sobre la superficie terrestre, sino tambien con relacion al espacio por la rotacion de la tierra, se sigue que es necesario tomar un punto fijo, al cual se refieran las observaciones de los cuerpos celestes, para que sean independientes de dichas variaciones. Este punto fijo es el mismo centro de la tierra, el cual aunque se mueva con relacion al espacio, sin embargo es inmóvil con respecto á la superficie terrestre. Simplificando de este modo las operaciones, será más facil hallar la posicion verdadera de un astro. Ahora, para averiguar esta posicion verdadera, á más de la correccion de la refraccion atmosférica, de que hemos hablado (Lib. II cap. IV § 4), es necesario hacer la correccion de la paralaje. Es de notar, sin embargo, que produciendo la paralaje un efecto contrario al de la refraccion, no por eso hay compensacion, pues la refraccion es igual para todo astro que esté á la misma altura sobre el horizonte, y la paralaje á más de ser menor que la refraccion, varía segun la distancia del objeto, aunque se halle á la misma altura sobre el ho-

rizonte, haciendo variar la declinacion y el ángulo horario de lso astros.

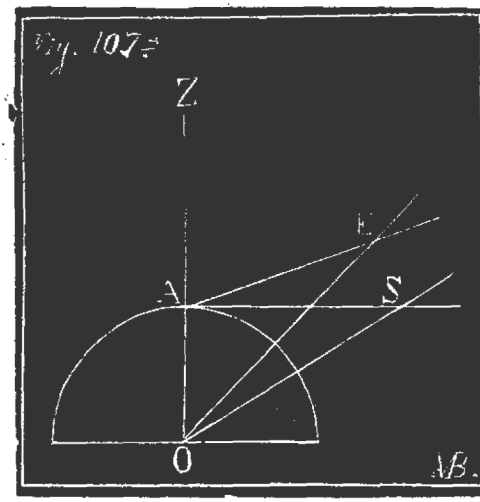
163. Supongamos al sol en el mismo horizonte en S [fig. 107]; para un observador que se halle en A, la distancia zenital será: ZAS = 90°; pero para otro que se suponga en el centro O de la tierra, la distancia zenital del sol será ZOS: por lo tanto, será:

$$ZOS = ZAS - OSA = 90° - p.$$

Si el sol se eleva á cierta altura, y se halla en E, para el observador que se supone en A, la distancia zenital será ZAE, pero para otro que se halla en O, centro de la tierra, será:

$$ZOE = ZAE - AEO = Z - p.$$

Luego para tener la posicion exacta del astro que se observa, es necesario referirlo al centro de la tierra, y corregir la posicion aparente del ángulo de paralaje, ó lo que es lo mismo, restar de la distancia zenital observada, corregida la refraccion, el ángulo OEA, que es la paralaje de altura. Esta paralaje de altura se deduce de la horizontal del lugar del observador por medio de tablas construidas de propósito para todas las latitudes y alturas.



164. Nota. En la fórmula [1] se supone r = al radio terrestre en el lugar del observador, y el arco igual al seno para todos los cuerpos celestes menos para la luna en ciertas observaciones más delicadas. Por tanto, si el observador no se halla en el ecuador, el radio terrestre de su latitud será diferente del radio ecuatorial. Indicando por ρ el radio ecuatorial, y por π la paralaje horizontal ecuatorial, será $\pi = \frac{\rho}{D} = \frac{1}{D}$, tomando por unidad el radio ecuatorial: para otro lugar cualquiera la ecuacion [1] se convertirá en $\rho = r\pi$;

es decir, que se obtiene la paralaje del lugar del observador, multiplicando la paralaje horizontal ecuatorial por el radio terrestre del lugar del observador. Si los arcos no pueden tomarse iguales á los senos, lo que se verifica para la luna en las observaciones más delicadas, la fórmula será en dicho caso: sen. $\rho = r\pi'$.

Obrando la paralaje en el plano vertical, es decir, en el plano que pasa por el zenit del observador, hace variar la altura, más no el azimut de los astros.

§ 3.

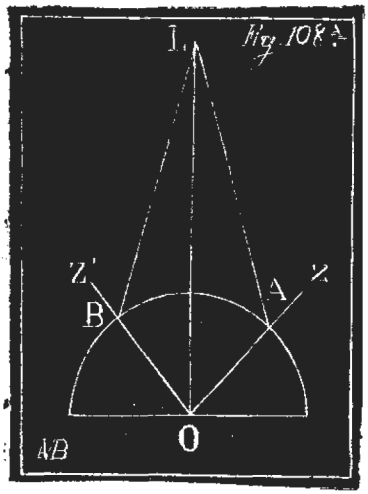
Medida de la paralaje.

165. Tratándose de medir la distancia entre dos puntos de los cuales uno sea inaccesible, la geometría dá un medio fácil para averiguarla por la resolucion de los triángulos. Este mismo método se emplea para determinar la paralaje de un astro, pues todo se reduce á determinar el valor de un ángulo, siendo conocidos los otros dos. Si dos observadores que podemos suponer se hallen bajo un mismo meridiano en A y en B (fig. 108) dirigen las visuales á la Luna en L, podrán determinar la distancia zenital respectiva ZAL, y Z'BL cuyo valor para el observador situado en A será representado por

$$ZAL = AOL + ALO$$

para el que se halla en B será:

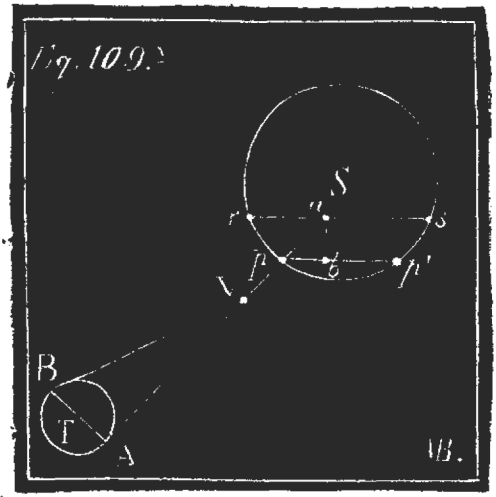
$$Z'BL = BOL + BLO.$$



Siendo conocidos los dos ángulos AOL y BOL, por ser las latitudes respectivas de los dos observadores, que suponemos á una distancia competente por uno y otro lado del ecuador, podrá facilmente determinarse el ángulo ALO que es la paralaje. Adviértase, sin embargo, que se calculará la distancia OL tomando por unidad el radio de la tierra OA. Si las estaciones no estuvieran bajo un mismo meridiano, habria que hacer una correccion proporcional á la variacion de la paralaje en el intérvalo de los dos pasos por el meri-

diano. En cuanto al radio terrestre, habrá que tomar el ecuatorial y adoptar la latitud geocéntrica. Este procedimiento que dá buen resultado para la luna, es insuficiente tratándose del sol, á causa de su mucha distancia á la tierra.

166. Para averiguar la paralaje del sol, no pudiéndose emplear el método anteriormente dicho, los astrónomos se valen de los pasos del planeta Venus delante del disco solar: de aquí nace la suma importancia de este fenómeno, y tanto más, cuanto que es muy raro. Daremos una idea del método adoptado. Estando Venus en conjuncion, es decir, entre el sol y la tierra, se proyecta á veces sobre el disco solar, describiendo en su movimiento una cuerda que es mayor ó menor, segun la posicion del observador con respecto á la visual. Ahora bien, supongamos sea S el sol [fig. 109], V Venus, T la tierra. En dos puntos extremos de un diámetro perpendicular á la eclíptica A y B, hállense dos observadores: cada uno de ellos verá á Venus proyectarse sobre el disco del sol, pero en diferente lugar. El observador que se halla en A, verá al planeta recorrer la cuerda *rs*, el otro en B observará la cuerda *pp'*. Supuesto que, siendo conocido el movimiento relativo de Venus y de la tierra con respecto al sol, y por tanto el ángulo descrito en un segundo, puede determinarse no solo las longitudes de dichas cuerdas por medio de los tiempos empleados en recorrerlas, sino tambien su posicion sobre el disco solar, podrá deducirse la distancia de cada una de ellas al centro del sol y su distancia mutua *ab*. Ahora, sabemos por la tercera ley de Kepler, que la distancia de Venus al Sol, está expresada por 0,72 de la distancia del Sol á la Tierra tomada por unidad; de consiguiente, la distancia de Venus á la Tierra, estará representada por 0,28. Pues bien; los dos triángulos semejantes, VAB y V*ab* dan la proporcion



$$\frac{AB}{ab} = \frac{VT}{VS} = \frac{0.28}{0.72} = 0.388.$$

De consiguiente, el diámetro terrestre $AB = 0,388 \times ab$; de modo que si $ab = 4'',554$, será: $AB = 0,388 \times 4'',554 = 17'',67$, lo que dá para la paralaje $\frac{AB}{2} = 8'',83$. Esta es la paralaje que actualmente se adopta, y que ha resultado de las observaciones más recientes con ocasion de los últimos pasos de Mercurio y de Venus sobre el disco del sol. El P. Secchi en su obra "Le Soleil" adopta la paralaje $= 8'',91$ la que por observaciones posteriores ha sido modificada en $8'',83$ y sobre ella se fundan todos los cálculos siguientes.

167. Tomando ahora la fórmula general $p = \frac{r}{D} = 8'',83$, resulta: $D = \frac{r}{8'',83}$, es decir, que el valor de D depende de la relacion del radio terrestre con el ángulo bajo el cual este mismo radio se vería desde el sol. Es fácil hallar este valor. Sabemos que en un círculo cualquiera, cuyo radio sea $= 1$, la circunferencia está representada por $2\pi = 2 \times 3,1415926$, y el arco de $1''$ en dicha circunferencia será expresado por $\frac{1}{360 \times 60 \times 60}$, ó sea, $\frac{1}{1.296,000}$, y además la longitud líneal de este arco será: $\frac{2\pi}{1.296,000} = \frac{1}{206,369.}$ Ahora, si se tratara de averiguar á qué distancia se verá un objeto bajo un ángulo de $1''$, supuesto que se conozca el diámetro del objeto, no habría más que tomar por unidad esta distancia, y aplicar la fórmula anterior, es decir, que debería el objeto estar situado á la distancia de 206.369 veces su diámetro. Si fuera visto bajo un ángulo de $2''$, deberia estar á la mitad de la distancia, es decir $= \frac{206,369}{2}$, y así sucesivamente. Ahora, si el radio terrestre á la distancia solar subtiende un arco de $8'',83$, dicha distancia será expresada por $\frac{206.369 \times r}{8'',83}$, lo que dá el valor de $D = 23,371\ r$. Siendo el radio medio terrestre $= 6.366,778$, será $D = 23,371 \times 6.366,778 = 148.797,968^{kil.}$ ó sea 33.482,891 leguas $= 100.448,673$ millas geográficas. Esta distancia varía más ó menos en 386 radios terrestres, á saber, casi la sexagésima parte de su valor medio. Los 386 radios terrestres darian 2.450,194 kil., ó sea, 551,320 leguas (1).

(1) Para concebir la distancia del sol á la tierra, se ha calculado cuánto tiempo sería necesario emplear, para poderla recorrer con velocidades distintas. Un hombre á pié, dado que ande 8 kil. por hora sin descansar ni de dia ni de noche, deberia emplear 2.000 años. Una locomotora á toda fuerza de vapor caminando 60 kil. por hora, emplearia tres siglos. Una bala de cañon,

§ 4.

Magnitud del sol.

Volúmen.—Masa.—Densidad.

168. De las variaciones del diámetro aparente del sol, de que hemos hablado en el § 7 del cap. precedente, resulta que sacando los valores extremos, el diámetro medio es = 32',3'',3. Sabemos que los diámetros reales de dos astros, vistos á la misma distancia, son proporcionales á sus diámetros aparentes. Siendo, pues, el diámetro medio aparente del sol = 32',3'',3 y conociendo por otra parte el valor del diámetro aparente de la tierra, visto desde el sol, que es = 17'',67, podremos hallar el diámetro verdadero del disco solar. Llamando D á este diámetro, y d al de la tierra, Δ' y δ' los diámetros aparentes respectivos, resulta:

$$\frac{\Delta'}{\delta'}=\frac{D}{d}=\frac{32',3''3}{17'',67}=\frac{1923'',3}{17'',67}, \text{ de donde } D=\frac{1923'',3\times d}{17'',67,}=108,8\times d,$$

es decir, que el diámetro del sol es casi 109 veces el diámetro terrestre, y siendo este = 12,733,557^{m}: el del sol será:
12,733,557^{m} × 109 = 1,387,957,713^{m} = 312,321 leguas. De este cálculo tan sencillo podemos deducir su circunferencia y su volúmen. Para la primera, siendo $C=2\pi R$, resulta:

$$312,321^{leg.}\times\pi=312,321\times 3,14=980,687^{leg.}$$

Para el segundo, siendo los volúmenes de dos esferas entre sí como los cubos de sus diámetros, resultará: $\frac{V}{V}=\frac{D^3}{d^3}=\frac{312,321^3}{2,865^3}$, de donde $V=\frac{312,321^3\times V'}{2,865^3}$, lo que dá para el volúmen del sol 1.223,152 veces el volúmen de la tierra. Podemos formarnos una idea de esta dimension tan desmesurada, suponiendo un globo cuyo diámetro fuera igual al de la órbita de la Luna; este no seria más que la octava parte del globo solar. La masa del sol, ó sea la cantidad de moléculas materiales de que se compone, es 326,800 veces mayor que la de la tierra. Ahora, estando la fuerza de gravedad en proporcion con la masa, y en razon inversa del cuadrado de la distancia, se sigue que la gravedad en la superficie solar es 28 veces mayor que sobre la

---

que conservara su velocidad inicial de 500 metros por segundo, llegaria hasta el sol en 10 años. El sonido en circunstancias iguales á las de nuestra atmósfera, necesitaria 15 años. La electricidad que en un alambre de cobre recorre 180.000 kil., por segundo, emplearia 12 minutos; en fin, la luz, el más rápido de los agentes, necesita 8 minutos para recorrer toda esa distancia.

superficie terrestre. Allí no podria un hombre sostener su propio peso, y se sentiria como aplastado por una fuerza invisible. La densidad relativa del sol es = 0,255 de la de la tierra, y siendo esta =5,44 con relacion al agua destilada á 4° sobre cero, se sigue que la densidad del sol es = 0,255 × 5,44 = 1,3872, es decir, poco más que el agua misma.

§ 5.
Manchas.

169. Si se observa atentamente la superficie del disco solar por medio del telescopio, facilmente se reconoce que en toda su extension no es igualmente luminosa, sino que aparecen de vez en cuando unas manchas negras, las cuales al principio se presentan como pequeños puntos negros, y despues de unos cuantos dias se las vé aumentar en magnitud y variar en su forma. El aspecto con que se presentan, no es siempre el mismo: unas veces se ven redondas, otras largas y sinuosas; algunas están aisladas, otras forman grupos, pero todas generalmente constan de dos partes, á saber, de *núcleo* y de *penumbra*. El *núcleo* es la parte negra central, la *penumbra* es una parte exterior de la mancha, la cual es mucho más clara que el núcleo negro de la misma. Ordinariamente la penumbra está constituida por una especie de ramificaciones oscuras, que salen de la parte central y se extienden al rededor de ella. El 6 de Mayo de 1857 apareció una en forma de remolino, y fué vista en el observatorio del Colegio Romano á las 11ʰ A. M. En el espacio negro del núcleo [fig. 110], cuya forma era muy semejante á una espiral, existian dos hoyos negros, rodeados por ramificaciones luminosas, que tambien conservaban la forma de espiral. A la 1ʰ de la tarde ya habia cambiado su aspecto: los dos hoyos negros se habian confundido en uno, y la forma del núcleo habia pasado á ser casi redonda, desapareciendo aquella especie de lengua luminosa que en él se internaba. Estas variaciones demuestran que existe en el sol una agitacion y movimiento muy rápido, y en una escala muy fuera de lo que se puede ima-

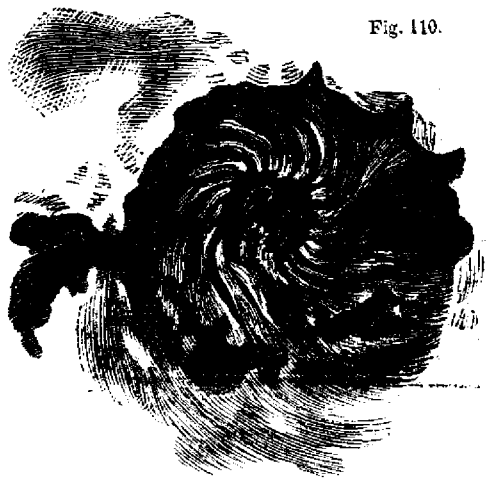
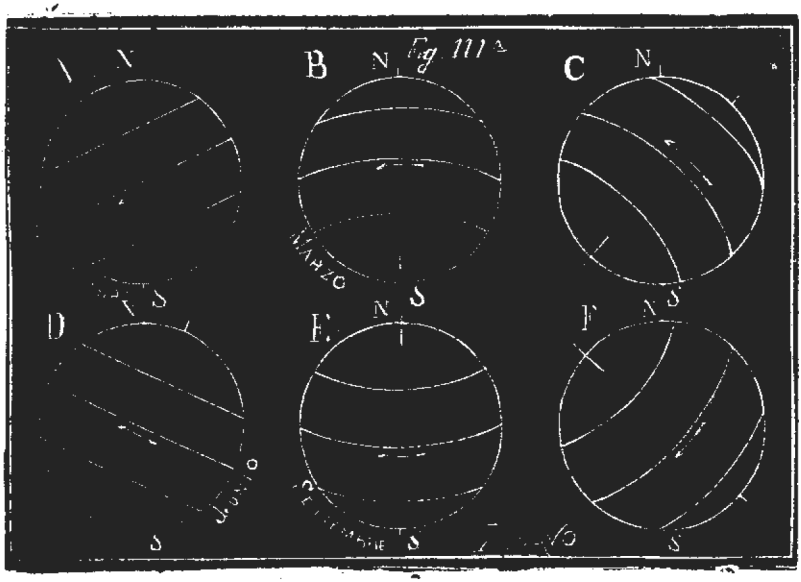


Fig. 110.

ginar. Un segundo en arco, para un observador sobre la tierra, corresponde en la superficie solar á 170 leguas, y un círculo de su diámetro que comprenderia más de 22.000 leguas cuadradas, es el menor espacio que podemos ver distintamente sobre la superficie del sol. De consiguiente, una mancha cuyo diámetro se viese bajo un ángulo de 2″ y se han observado varias, daria una extension de 16.000 leguas, es decir, cinco veces mayor que el diámetro terrestre.

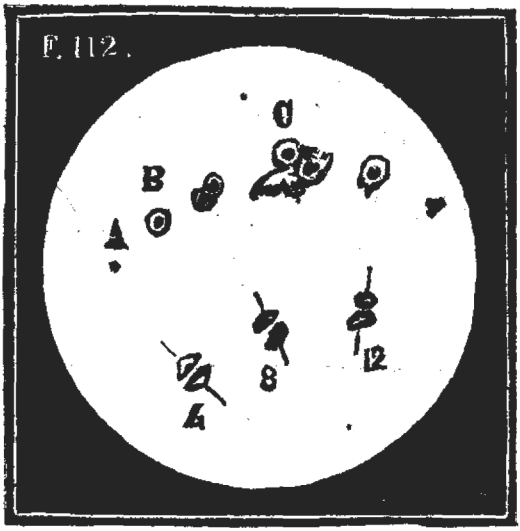
170. Las muchas observaciones hechas sobre las manchas solares han dado á conocer: 1º que varian de lugar de un dia para otro con movimiento regular, el cual no puede ser otro que el de una rotacion circular: 2º que su marcha aparece más rápida cuando se hallan cerca del centro, que en las extremidades del disco: 3º que de su movimiento regular se deduce el movimiento de rotacion del sol al rededor de su eje en 27 dias y cuarto: 4º que además tienen un movimiento propio, y por lo tanto, se hace algo más dificil la determinacion de la rotacion del sol con exactitud y precision: 5º que



el curso de una mancha trazado sobre el disco solar, es rectilíneo ó curvilíneo, segun la posicion del plano del ecuador solar, con respecto á la posicion del observador. En los meses de Marzo y Setiembre, las trayectorias descritas por las manchas son elipses muy oblícuas, con la diferencia de que en Marzo vuelven su convexidad al N. [fig. 111, B], y en Setiembre la vuelven al S. [fig. 111, E]; en

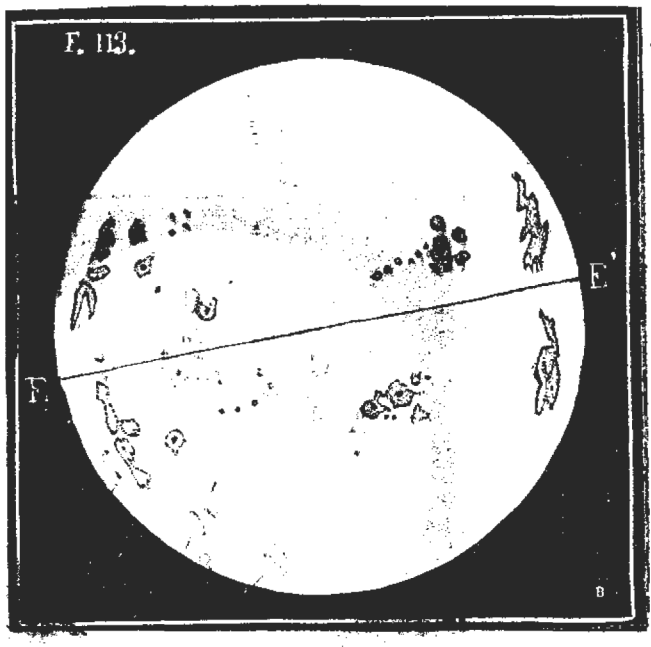
los dos casos, el eje mayor de las elipses se halla casi paralelo á la eclíptica. Disminuye ó aumenta la curvatura, segun que sea del equinoccio al solsticio, ó del solsticio al aquinoccio, inclinándose al mismo tiempo sobre el plano de la elíptica [fig. 111, CF], hasta que en los meses de Junio y Diciembre se trasforman en línea recta, aunque en posicion diferente [fig. 111, AD]. De la variacion de estas elipses se ha deducido que la inclinacion del Ecuador solar sobre la eclíptica es $= 7°,45'$.

171. Ordinariamente las manchas aparecen en dos fajas por uno y otro lado del Ecuador, aunque no muy cerca de él: sus límites aproximadamente son de los 10° á los 45°: más allá de estos límites rara vez se han observado; si se han visto tal vez en el mismo ecuador, pronto han desaparecido; cerca de los polos nunca se han visto. La forma de las manchas como hemos dicho es muy variable; y esto se verifica no solo comparándolas unas con otras, sino tambien consigo mismas en diferentes tiempos. Por lo general, cuando empiezan á formarse, se presentan como un pequeño punto negro que se llama *poro;* este vá aumentando poco á poco y formándose al rededor del núcleo la penumbra. A veces no solo aumenta extraordinariamente, de modo que puede observarse hasta con la simple vista, sino que la mancha aparece rodeada ó seguida de varias otras y más pequeñas, con las cuales forma un grupo. La fig. 112 dá una idea de la trasformacion de las manchas. A, es un poro. B el mismo poro aumentado y con su penumbra, que ha pasado al estado de mancha propiamente dicha; C, un grupo de manchas. En la parte inferior está representada una mancha que pude observar yo mismo en el mes de Julio de 1862, los dias 4, 8 y 12. El dia 4 era bien redonda, y solo debajo del núcleo habia unos puntos negros muy pequeños, que for-



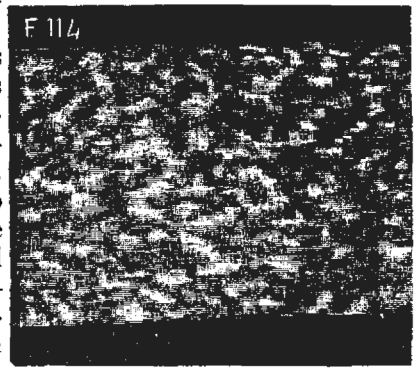
maban una especie de corona; el dia 8 se habia dividido en dos, habiendo disminuido su dimension: el 12 se hallaba todavia dividida, pero se conocia claramente el movimiento de rotacion de ambas partes al rededor de su centro, como lo ponen de manifiesto las líneas que representan la direccion del eje.

172. Lo que sean las manchas y de qué dependan, lo veremos despues tratando de la constitucion física del sol. A más de las manchas, existen en el sol las *fáculas*, y son una especie de nubes más blancas y más luminosas que las demás partes del disco solar. Su forma á veces es casi redonda, pero más frecuentemente presentan una forma elíptica muy extendida. Ordinariamente preceden á la formacion de una mancha y la acompañan. Son principalmente visibles cerca de los bordes del sol, desapareciendo cuando la mancha vá acercándose al centro; la razon de esto es sin duda por ser el sol más luminoso en el centro que en los bordes, como está ya averiguado. La fig. 113 representa el disco solar con sus fáculas y man-



chas: EE′ indica la direccion del Ecuador solar. Ese aspecto presentaba el sol pocos momentos antes que se verificara el eclipse total del 18 de Julio de 1860.

173. La superficie misma del sol no presenta un brillo uniforme, sino que está toda sembrada de pequeños puntos más luminosos que se llaman *lúculos*, y que dán á toda la superficie un aspecto de marmol jaspeado. La fig. 114 representa una parte de la fotosfera luminosa del sol, tal como se la observa con buenos telescopios.



174. La observacion de las manchas solares data desde los principios del siglo XVII, es decir, desde la invencion del telescopio hecha por Galileo. El P. Scheiner, jesuita, fué el primero que observó el curso entero de las manchas sobre el disco del sol, dos de las cuales pudo estudiar detenidamente en 1627, desde el 2 hasta el 14 de Marzo y son las representadas en la fig. 115. Los lugares en que se halla representada la mancha con simples puntos, indican los vacíos debidos á la falta de observacion á causa de las nubes. A dicho astrónomo se debe tambien el descubrimiento de que las manchas no son de tinte uniforme, sino que se distingue en su centro una parte más negra que se llama *núcleo*, rodeado por otra ménos luminosa que se llama *penumbra*. En esa misma época Galileo observó que los intervalos en el curso ordinario de una mancha, varian segun lo exige el escorzo de la perspectiva sobre una esfera. Con todo, si es justo reconocer el mérito, es preciso confesar que antes de Scheiner y Galileo, fueron vistas las manchas por el astrónomo Fabricius, aunque fué solo á la simple vista y sin instrumento.

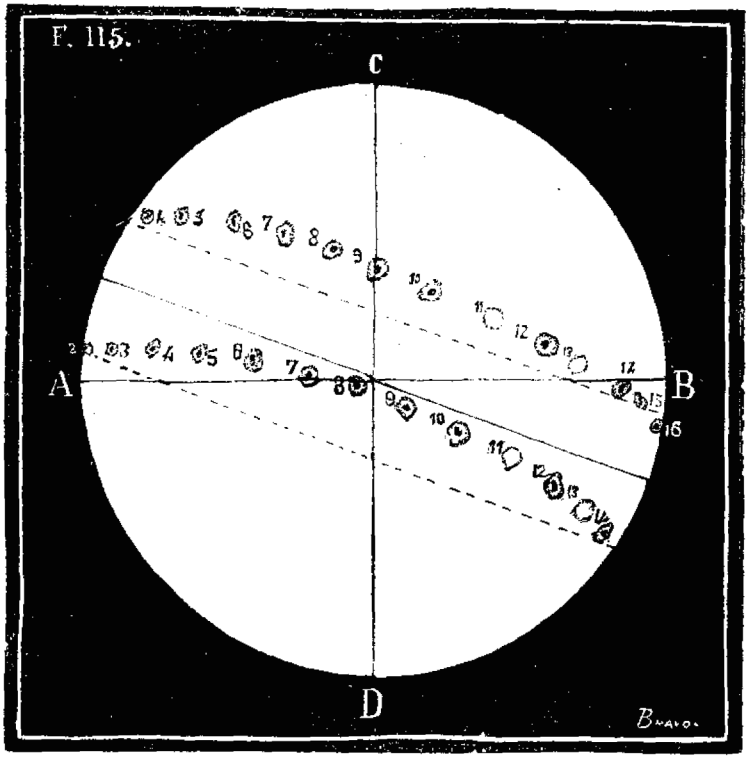
175. No pertenece á la naturaleza de esta obra, entrar en más detalles sobre este punto, que ha formado uno de los principales estudios de la astronomía moderna y que tanto ha hecho adelantar en la investigacion de la constitucion física del sol. Baste solo haber indicado esta materia en cuanto podia convenir al objeto de los presentes elementos.

§ 6.

Rotacion del Sol.

176. El movimiento regular de las manchas del E. al O., indica sin duda un movimiento de rotacion del disco solar al rededor de su

eje, del mismo modo que lo tienen todos los planetas y cuerpos celestes. Por medio de este movimiento se ha podido determinar los elementos de dicha rotacion, á saber, la posicion del eje al rededor del cual se efectúa la rotacion y el tiempo de su duracion. En cuanto á la primera, se ha hallado que el Ecuador solar solo está inclinado so-



bre la eclíptica 7°,20′; y en cuanto al segundo, se sabe que la duracion de una rotacion es de 25 dias y un cuarto. Por una rotacion tan lenta en un cuerpo tan vasto no es facil hallar aplastamiento sensible. Mas hay aquí que distinguir los movimientos aparentes y los reales. La traslacion de la tierra al rededor del sol, dá lugar á una rotacion aparente en el disco solar. Si el sol estuviese fijo, un observador, desde la Tierra, veria todo el contorno del sol en el curso de un año; y como él se creeria inmóvil, le pareceria que el sol daba una vuelta sobre un eje al rededor de sí mismo en el sentido retrógrado. Pero como el sol tiene un movimiento de rotacion al rededor de su eje en el mismo sentido que la tierra, el efecto producido será

la resultante de estas dos rotaciones, una aparente y retrógrada, la otra real y directa. Esta es causa de que una mancha vuelva aparentemente á su posicion primitiva, despues de una rotacion solar, al cabo de 27 dias y medio. En esto se realiza el mismo fenómeno que en un viajero que diese vuelta al rededor del mundo dirigiéndose al O. el cual al cabo de un año, se hallaria con un dia menos. Del mismo modo, al cabo de un año, el observador habrá visto completarse una rotacion entera aparente en sentido contrario á una rotacion real, y por consiguiente, habrá perdido el efecto de una rotacion de las que realmente ejecuta el sol. Ahora, siendo el año de $365^{d},25^{cent.}$, y la rotacion aparente del sol de $27^{d},5$, tendremos el número de rotaciones expresado por $\frac{365^{d},25}{27^{d},5} = 13^{r},28$; las rotaciones reales serán pues $= 14,28$; por tanto, la duracion de una rotacion real vendrá expresada por $\frac{365^{d},25}{14,28} = 25^{d},57$.

§ 7.

Ciclo Solar.

177. Si se divide el número de dias que tiene el año, á saber 365, por el número de dias de la semana que es 7, se verá que el año comun consta de 52 semanas y un dia, y el año bisiesto de 52 semanas y dos dias. Prescindiendo ahora del año bisiesto, que no existia en tiempos antiguos, en el curso de siete años, los primeros dias de los años sucesivos, completarian el giro entero de los dias de la semana, y el octavo año volveria á empezar como el primero. Así, si el primer año empieza por Lúnes, el segundo empezaria por Mártes, el tercero por Miércoles, etc., y terminado el periodo de los siete dias de la semana, el año octavo volveria á empezar por el Lúnes. A este período de siete años, los Hebreos dieron el nombre de *ciclo solar*. Posteriormente las reformas Juliana y Gregoriana, aumentaron en un dia este periodo cada cuatro años; de modo que el periodo de los Hebreos ya no puede subsistir; de suerte que por la dicha intercalacion, el ciclo solar actual viene á constar de cuatro veces el periodo de los hebreos, á saber de 28 años; es decir, que si antes, al cabo de siete años, empezaba Enero por el mismo dia, ahora sucede esto sólo despues de 28 años.

178. Ahora bien, como la série de estos periodos, retrogradando hácia su orígen, empieza á contarse 9 años antes de la era cristiana, para hallar el número del ciclo solar, bastará añadir 9 unidades al año de que se trata, y dividiendo la suma por 28, la resta dará el

ciclo buscado, advirtiendo que si la division dá un cociente exacto, el número del ciclo será el mismo 28. Así, propongámonos hallar el ciclo solar de 1880: tendremos 1880 + 9 = 1889.

$$\begin{array}{r|l} 1889 & 28 \\ \hline 209 & 67 \\ \text{resta} \quad 13 & \end{array}$$

luego el ciclo solar de 1880 fué 13, que indica el número de años trascurridos del ciclo 68.

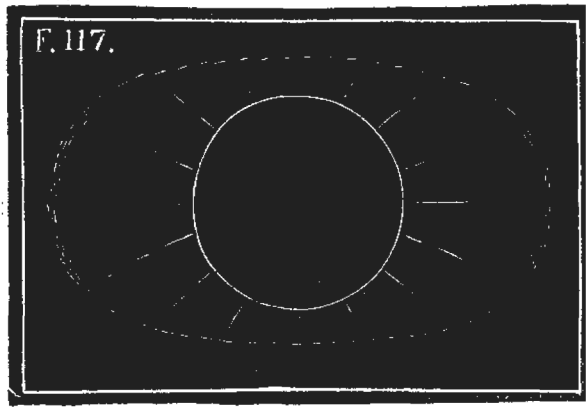
§ 8.

Constitucion física del Sol.

179. Los estudios que se han hecho sobre los fenómenos observados en el sol, y sobre todo, las manchas, han dado lugar á varias hipótesis sobre la constitucion física del sol. En general, puede decirse que el sol es un globo relativamente oscuro en la parte interior que forma el núcleo, el cual está rodeado por capas concéntricas, de las cuales la primera es un flúido opaco y reflejante, la segunda que es luminosa, es la que nos dá la luz y el calor, y la que determina el contorno visible del astro, es conocida con el nombre de *fotósfera;* la tercera es una capa de nubes, las que solo se hacen visibles en los eclipses totales (1), y aparecen de un color rosado-claro trasparente, y se llaman *protuberancias* [fig. 116]. Estas son poco reflejantes, y probablemente son las que proyectadas sobre el disco del sol forman las fáculas, y los puntos más luminosos del globo solar; finalmente, la última capa es atmosférica, y su altura se extiende á más de un cuarto del radio solar. De mucha importancia son los eclipses totales para estudiar los fenómenos que tienen lugar en dicha

(1) Con ocasion del eclipse total del 19 de Agosto de 1868, el astrónomo Janssen descubrió que aún fuera de los eclipses, puede observarse la presencia de estas nubes por medio del espectroscopio de Fraunhöfer. Las diferen-

ocasion, pues fuera de ello el brillo de la luz impide toda observacion directa. El resultado de los eclipses acaecidos desde algunos años á esta parte, dá á conocer que la atmósfera solar no es esférica como el sol mismo, sino que se extiende en direccion del Ecuador solar más que en los polos, y su proyeccion representa una elipse (fig. 117). Es indudable que esta misma forma demuestra un movimiento de rotacion al rededor de un eje.



180. A más de esto, parece que en este astro inmenso deben verificarse corrientes atmosféricas y tempestuosos huracanes, análogos á los de nuestra tierra, aunque en mucho mayor escala. Estas agitaciones que se comunican á la capa luminosa que llamamos fotosfera, producen en ella ciertas roturas, por los cuales se deja ver el núcleo interno que, aunque luminoso por sí, parece oscuro relativamente al brillo de la capa exterior, y éstas son las manchas de que hemos hablado.

181. La temperatura del sol es sobre todo lo que puede imaginarse, pues llega quizas á más de 10,000,000 de grados centígrados (1). De lo que se deduce que es imposible que existan allí cuerpos sólidos ó líquidos. Todo se halla en estado gaseoso y de vapor. El adelanto, en las investigaciones científicas han hallado tambien me-

tes rayas espectrales, dan á conocer no solo el lugar que ocupan, sino tambien su forma. A la fecha se han deducido de esto consecuencias muy importantes sobre la constitucion física del grande astro que nos ilumina. Véase la obra del P. A. Secchi *Le Soleil* impresa en París en 1870.

(1) Varias son las hipótesis que se han propuesto para explicar las causas que alimentan en el sol una temperatura tan extraordinaria, á pesar de su pérdida anual. La que se admite generalmente hoy dia, es la que expone el P. Secchi (obra citada) en los siguientes términos:

"Los Astrónomos admiten generalmente en la actualidad que nuestro sis-
"tema solar resulta de la condensacion de una nébula. Toda la materia de
"que se compone actualmete el sol y los planetas, se hallaba en un tiempo
"en estado de materia térmica esparcida en los espacios inmensos que abra-
"za el sistema solar: ella constituia una verdadera nébula análoga á las que
"vemos todavia en muchas partes del cielo."

dios para averiguar las especies de gases que existen en el sol. Por medio del espectroscopio se ha reconocido que el principal y más abundante es el hidrógeno; despues siguen en estado de vapor el magnesio, el sodio, el nikel, el hierro, el aluminio y otros metales.

182. Otro argumento hay que dá conocer el estado gaseoso del sol. Si se examina por medio del polariscopio, bajo un ángulo muy pequeño, un cuerpo líquido ó sólido incandescente, se reconoce que su luz presenta indicios de polarizacion, como si ésta hubiese sufrido alguna refraccion. Pero examinando del mismo modo la luz de un gas inflamado, no se halla indicio alguno de polarizacion. Ahora bien, esto es justamente lo que se verifica examinando el disco luminoso del sol, pues estudiando su luz con el polariscopio bajo un ángulo muy pequeño, las dos imágenes que se forman, aparecen perfectamente blancas; luego debemos decir que el sol no es más que una inmensa cantidad de gas en estado de incandescencia.

§ 9.

Luz zodiacal.

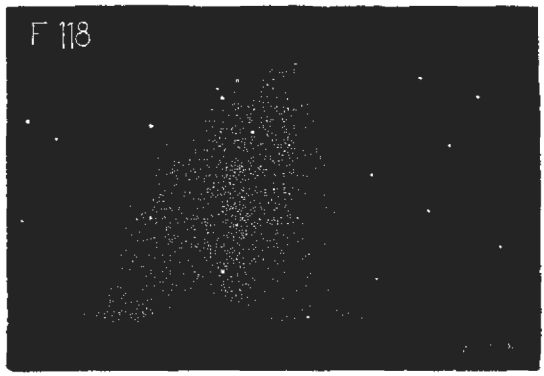
183. Consiste ésta en un ligero resplandor en forma de una pirámide encorvada, cuyo eje se dirige casi paralelamente á la direccion del zodiaco. Se distingue esta luz de la del crepúsculo por la forma parecida á una lanza, ó más bien, á un huso suavemente encorvado

---

"Herschel, que ha estudiado estas nébulas, ha reconocido que se presen-"tan en diferentes grados de condensacion. Sus formas son muy diferentes "siendo ya irregulares, ya globulares, ora elípticas, ora anulares; la materia "de que se componen se halla en un estado completo de disociacion, y noso-"tros conocemos por medio del espectroscopio que en su mayor parte son "completamente gaseosas. Ahora, la masa que compone nuestro sistema, ex-"tendida hasta la órbita de Neptuno, se presentaria en un estado de rarefac-"cion comparable al que producen nuestras mejores máquinas neumáticas."

"Si suponemos que una masa semejante vaya á condensarse, precipitan-"dose sobre un punto central, podremos perfectamente aplicar la teoría de "Mayer. El choque recíproco de las moléculas pondrá toda la masa en una "vibracion térmica, y desarrollará en el centro una cantidad muy considera-"ble de calor. Teniendo en cuenta la masa y el modo como debe de haber si-"do repartida en el estado primitivo á diferentes distancias del sol, se ha "calculado que la cantidad de calor desarrollado de este modo, debe haber "sido elevado á una temperatura de 500,000,000 de grados. Esta habria sido "la temperatura inicial del globo solar; así, lo que nosotros observamos hoy "dia, no seria más que un débil resíduo de la enorme cantidad de calor de-"bida á la sola gravitacion." Secchi pág. 287.

en su extremidad (fig. 118), y que tal vez se extiende hasta cerca del meridiano, pudiéndose observar aún despues que ha acabado el crepúsculo, ó ántes que empieze la aurora. La época de su mayor visibilidad en las latitudes medias, es cuando el sol se halla en los equinoccios, es decir, en Marzo, despues de la puesta del sol y entonces se extiende hasta los 83° de distancia angular del sol, es decir, que tiene de largo por lo ménos los 0,99 de la distancia de la Tierra al sol: por lo tanto, llega casi á la tierra, y en el mes de Setiembre, se la observa por la mañana hácia el E. En la region ecuatorial y en las tropicales puede verse en todo el año. La gran distancia á que llega la luz zodiacal, ha dado motivo á varios astrónomos para creer que no solo llega á la Tierra, sino que todos los planetas hasta Neptuno están sumergidos en ella. Es muy probable que esta materia luminosa forme parte de la atmósfera solar y que dá orígen á la corona luminosa que aparece al rededor del sol en los eclipses totales, ó que esté constituida por una multitud de moléculas de materia cósmica que se dirijan hácia el sol, atraidas por él, como centro de gravitacion.



LIBRO IV.

De la Luna.

CAPITULO I.

§ 1.

La Luna, satélite de la Tierra.

184. Despues del sol, el astro más luminoso para nosotros es la Luna, la cual parece igual al sol por estar muy cerca de la Tierra, sin embargo, es sumamente más pequeña, no solo con respecto al sol, sino tambien con relacion á la Tierra misma, de la cual es satélite. Siendo un cuerpo opaco, es decir, no teniendo luz propia, nos refleja la luz que recibe del sol, y segun su posicion celeste con relacion al sol y á la Tierra, se nos presenta bajo diferentes aspectos que se llaman *fases*.

185. La luna tiene por centro de su movimiento á la Tierra, y su cambio de posicion en la esfera celeste se percibe áun en pocas horas de observacion. Comparando los diferentes lugares que ocupa con relacion á las estrellas, se la vé trasladarse de Occidente á Oriente con movimiento constante, y que de un dia para otro se halla no ser igual en velocidad. Con este movimiento recorre casi 13° en 24 horas, mientras que el sol recorre apenas uno. El curso de la Luna no coincide con la eclíptica, aunque esté entre los límites del zodiaco. Su declinacion máxima llega á veces á 28°,31′, lo que prueba que el círculo descrito por ella está inclinado casi 5° sobre la eclíptica. Cuando la luna atraviesa este plano, puede suceder que su longitud sea igual á la del sol; en este caso, la Luna se encuentra entre el sol y la Tierra; se dice entonces que los dos astros están en *conjuncion*. Puede tambien hallarse en un punto diametralmente opuesto al sol, de modo que la diferencia en longitud sea de 180°, y entonces los dos astros se hallan en *oposicion*, hallándose en este caso la Tierra entre el sol y la Luna. En la primera circunstancia puede verificarse que el disco lunar pase delante del sol, interceptándonos sus rayos luminosos; habrá entonces un eclipse de sol. En la segunda podrá la Luna atravesar el cono sombrío que

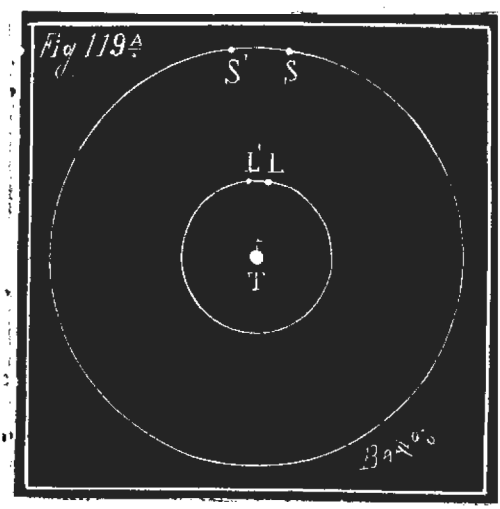
proyecta la Tierra, y perder así la luz que recibe del sol; en este caso se verifica un eclipse de Luna. Estas dos posiciones respectivas, la conjuncion y la oposicion, llevan el nombre de *sizigias*.

186. Los puntos en que la órbita lunar corta á la eclíptica se llaman *nodos*, y se indican con los signos ☊☋; será el nodo *ascendente* ☊, cuando la Luna pasa del hemisferio austral al boreal, y *descendente* ☋, cuando pasa del boreal al austral. Llámanse *cuadraturas* las posiciones de la Luna que tienen una longitud igual á la del sol $+90°$, ó $+270°$. En este caso, los radios trazados desde el centro de la Tierra á los centros de los dos astros forman ángulos rectos.

§ 2.

Revolucion sinódica de la Luna.—Ciclo lunar.

187. Llámase *revolucion sinódica* de la Luna el giro que describe nuestro satélite al rededor de la Tierra con relacion al sol, es decir, el tiempo que emplea para pasar de una conjuncion á otra; mientras que *revolucion sideral* es el tiempo empleado por la Luna para volver á la misma estrella. Para entender mejor en qué consiste la revolucion sinódica, sea S el Sol [fig. 119], L la Luna en una conjuncion. Pues que los dos astros se mueven en el mismo sentido, la Luna cumplirá su revolucion sideral volviendo al mismo punto L, y describiendo su órbita al rededor de la Tierra, al mismo tiempo que el sol describe un pequeño arco SS′, que es de 27° aproximadamente. Por lo tanto, para que la Luna alcance al sol y vuelva á estar en conjuncion con él, es preciso que describa el arco LL′ de 27°, y para ello emplea 2^d, 5^h, 44^m. Ahora bien; si para que la Luna cumpla una revolucion sideral, emplea 27^d, 7^h, para cumplir una revolucion sinódica, empleará 29^d, 12^h, 44^m. Este es el *mes lunar* ó una *lunacion*.



188. La necesidad de conciliar los dos periodos del mes lunar y del año solar para arreglar el calendario, obligó á los astrónomos antiguos á buscar la relacion entre estas dos revoluciones. Fácilmente hallaron que un año solar contiene 12 lunaciones y una fraccion de 10 dias, ó más exactamente, 1 año solar = 12,3682 lunaciones. Ahora, si queremos hallar el número de años que se necesita para que el segundo miembro de dicha ecuacion llegue á ser lo más que se pueda un número entero, para que vuelvan á verificarse las lunaciones en el mismo órden y en los mismos dias, formando los múltiplos sucesivos de los dos miembros de la ecuacion, hallaremos que 19 años solares = 234.995 lunaciones, ó sea, que en un periodo de 19 años se verifican 235 lunaciones completas. Con todo, como cada lunacion es de 29^d, 12^h, 44^m, el error, al cabo de dicho periodo de 19 años, seria de 0,0884 de dia; de lo que resultaria la diferencia de un dia entero cada dos siglos. En cuanto á lo primero, como no puede contarse una fraccion de dia en el uso civil, se ha convenido en computar las lunaciones, ya de 29, ya de 30 dias: por lo que hace á lo segundo, habrá que empezar un nuevo periodo de 19 años cada 200 años. Este periodo de 19 años se llama *ciclo lunar*, y el número de órden á que pertenece cada año de dicho ciclo se llama *áureo número*. Hay que notar, sin embargo, que si cada año de este periodo tuviera 12 lunaciones solamente, al cabo de 19 años habria un resíduo de 7 lunaciones, las cuales por pertenecer al mismo periodo, hacen que cada dos años de 12 lunaciones se cuente uno de 13. De este modo, en todo el ciclo lunar habrá 13 años de 12 lunaciones y seis de 13. Esta intercalacion en el periodo de 19 años, que introducida en Grecia por Meton, dió al fin un poco de órden al calendario de los griegos, fué causa de que estos en memoria del hecho, hicieran escribir con letras de oro en las puertas del templo de Minerva, las reglas á que está sujeta. De aquí tuvo orígen el nombre de *áureo número* que se ha conservado hasta el presente. Este periodo de 19 años trópicos una vez terminado, hace volver á comenzar las lunaciones en el mismo órden y en los mismos dias del mes.

189. Supongamos que el primero de Enero se verifica el principio de una lunacion, ó sea la Luna nueva: al cabo del año se habrán completado 12 lunaciones, y se hallará que la 13ª lunacion ha empezado: de suerte que el 31 de Diciembre, la Luna tendrá diez dias: y el 1º de Enero del año siguiente tendrá 11 dias: completándose las 12 lunaciones en este segundo año, se hallará que al fin del año la 13ª lunacion ha empezado tambien, y el 31 de Diciembre la Luna tendrá 21 dias. El 1º de Enero del año siguiente la edad de la Luna será de 22 dias, y así sucesivamente: de modo que terminado

el periodo de 19 años, volverá á caer la Luna nueva el 1° de Enero. El número que expresa los dias de la Luna el 1° de Enero se llama *epacta*. Por lo dicho se vé que cada año la epacta tiene una diferencia de 11 dias con respecto á la anterior. Ahora, como es preciso saber la epacta para hallar el principio de cada lunacion en el curso de un año, se hará uso de los cálculos siguientes.

190. La epacta depende del áureo número: hallaremos, pues, primero el áureo número y en seguida la epacta. Para encontrar el áureo número, puesto que el primer año de la era cristiana fué 2º del ciclo lunar, bastará añadir una unidad al año de que se trata, y dividirlo por 19; el cociente dará el ciclo lunar, y la resta el áureo número. Así, si se quiere hallar el áureo número de 1889, será: $\frac{1890}{19}=99+\frac{9}{19}$. Luego 99 indicará el número de ciclos que han pasado desde el principio de la era cristiana; y 9 será el áureo número del ciclo 100. Si el cociente fuera exacto, el áureo número seria el mismo divisor 19. Así para el año de 1880 tendriamos $\frac{1881}{19}=99$: *quiere decir que el año de 1880 fué el 19° del ciclo 99.* Hallado el áureo número, fácil es encontrar la epacta.

191. Disminuyendo en una unidad el áureo número del año, y multiplicándolo por 11, divídase por 30; la resta dará la epacta. El áureo número de 1889 es 9; disminuyéndolo en una unidad, quedará = 8, que multiplicado por 11 y dividido por 30, nos dará 28: luego la epacta del año 1889 será 28. Ahora, si se trata de hallar el dia de la Luna nueva, bastará añadir á la epacta tantas unidades cuantas se necesiten para llegar á 30. De este modo es fácil conocer que la Luna nueva del mes de Enero de 1889, caerá el dia 3. Obvias son las razones en que un procedimiento tan sencillo se funda.

192. Contando despues las lunaciones de 29 y 30 dias alternativamente, se obtendrán los dias de la Luna nueva en cada uno de los otros meses. Para hallar la edad de la Luna en un dia cualquiera del año, se hace uso del siguiente cálculo, fundado en los principios expuestos: A la epacta del año se añade el número de meses que han trascurrido desde Marzo, y el número de dias trascurridos en el mes de que se trata hasta la fecha que se pide: restando de toda la suma los 30 dias de una ó dos lunaciones, si las hay, la resta dará la edad de la Luna en el dia pedido, advirtiendo que debe añadirse una unidad á dicha resta, si el año es bisiesto. Si se quiere averiguar cual fué la edad de la Luna el 6 de Agosto de 1880, haremos el cálculo siguiente:

Epacta.....	18
Número de meses desde Marzo.....	5
Número de los dias del mes.....	6
Por ser el año bisiesto.....	1
	30

restando los 30 dias de una lunacion tendremos cero, es decir, el dia de la Luna nueva; y en efecto, por otro cálculo sabemos que la conjuncion verdadera se verificó en ése mes el dia 6 á 0^h, 14^m A. M.

193. Hallada la epacta de un año, es fácil hallar la del año siguiente. Sabiéndose que la diferencia de un año á otro es 11 dias, bastará añadir 11 á la epacta del año anterior, restando 30, si la suma excede de este número. Se exceptúa solamente la epacta XVIIJ que cae el año 19 del ciclo, pues á dicha epacta hay que añadir 12; la suma será XVIIJ + 12 = 30 y de consiguiente, la epacta del año que se sigue será 0. De este modo se corrige exactamente la pequeña cantidad [=0,0884], en que difieren las 12 lunaciones de los 355 dias correspondientes, segun hemos dicho.

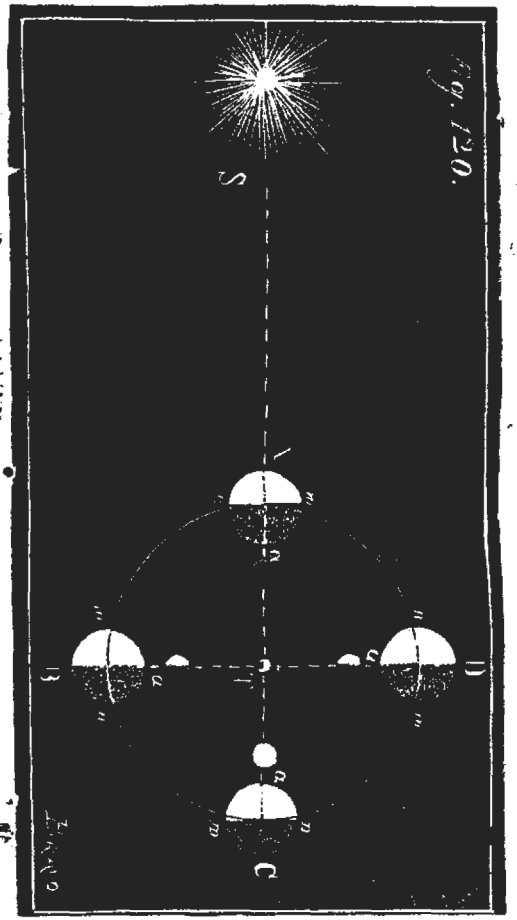
§ 3.

Fases de la Luna.

194. No teniendo la Luna luz propia, sino la del sol reflejada, nos parece oscura cuando se halla en conjuncion, ó por mejor decir, no podemos verla: en este caso tiene lugar la *Luna nueva* ó el *Novilunio*. Cuando se halla completamente iluminado todo el hemisferio de la Luna vuelto hácia la tierra en la oposicion, es decir, á 180° del sol, se verifica la *Luna llena* ó el *Plenilunio*. En las posiciones intermedias, siendo solo una parte del hemisferio vuelto hácia la tierra la iluminada por él, y pudiendo la extension alumbrada aumentar ó disminuir, presentará entonces la Luna diferentes aspectos. Todos estos aumentos ó disminuciones de luz que sufre la Luna con respecto á la Tierra durante una lunacion, se llaman *fases*.

195. Para explicar estas fases, supongamos en primer lugar al sol S [fig. 120] á una distancia infinita, la Tierra en T, y la Luna en cuatro posiciones, A, B, C, D. Preciso es advertir ante todo dos cosas: 1º que cualquiera que sea la posicion de la Luna con respecto á la tierra, solo estarán iluminados los hemisferios que miran al sol, los que en las posiciones supuestas, son *m*A*n*, *am*B, *nam*, D*na:* 2º que la Luna vuelve siempre el hemisferio *man* á la Tierra. Esto

supuesto, consideremos la primera posicion de la Luna en A. Hallándose el observador en T no verá el hemisferio *man*, el cual por estar opuesto al Sol, será del todo invisible; se verifica entonces la conjuncion ó el novilunio. Cuando la Luna pasa á la posicion B, despues de siete dias, es decir á 90° del Sol, de todo el hemisferio iluminado de la Luna, solo la mitad podrá ser vista desde la Tierra, es decir, la parte *ma*, y como ésta no es más que la cuarta parte de toda la superficie lunar, se denomina *primer cuarto, ó cuarto creciente*. Siguiendo la Luna su marcha y llegando á 180° del Sol, es decir, á la oposicion en C, como todo el hemisferio de la Luna *man* vuelto hácia la tierra es el mismo que se halla vuelta enteramente hácia el Sol, el observador en T verá todo el hemisferio iluminado; por lo tanto, habrá *Luna llena ó Plemilunio*. Finalmente, llegando la Luna á la posicion D, el observador, de todo el hemisferio D*na* alumbrado por el sol, verá solamente el cuadrante *an*, que se llama *último cuarto ó cuarto menguante*.

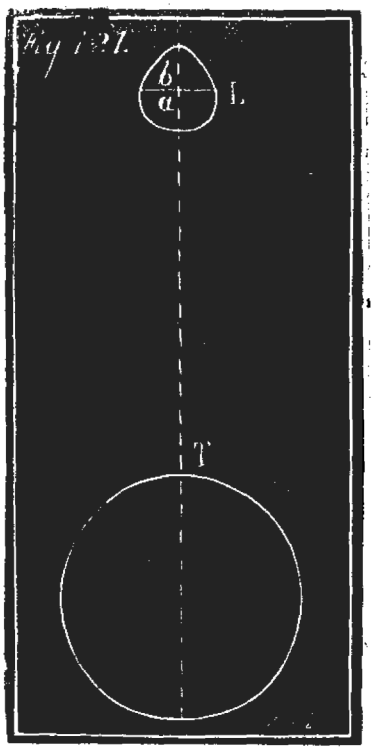


196. Hemos dicho que la Luna vuelve siempre el mismo hemisferio *man* á la Tierra. Este fenómeno se explica fácilmente, porque mientras la Luna describe su órbita al rededor de la Tierra, ejecuta

tambien lentamente una rotacion al rededor de su eje, y como esta rotacion emplea justa y exactamente sin variar un segundo, el mismo tiempo que para describir su órbita al rededor de la Tierra, es imposible que presente á la Tierra el hemisferio opuesto. Si entre estos dos movimientos hubiese habido un solo segundo de diferencia, imposible seria que despues de tantos siglos la posicion de la Luna respecto de la Tierra no hubiera variado [1].

197. Fenómenos análogos á las fases de la luna, presentaria la Tierra á un observador situado en la Luna. Este segun la posicion que tuviese sobre el globo lunar, veria á la Tierra siempre fija, ya en el zenit, ya en el horizonte, ó en alguna posicion intermedia, dar vuelta al rededor de su eje en el espacio de 24 horas, presentándose á su vista trece veces mayor que la Luna para nosotros; y el diá-

(1) Podria aquí preguntarse, ¿cuál es la causa de que estos dos movimientos de la Luna sean tan rigurosamente iguales, que hagan imposible el verse el hemisferio opuesto? Los astrónomos la han hallado en las mismas leyes de la atraccion. Se ha reconocido que la Luna no es un cuerpo esférico, ni elipsoide regular, sino un cuerpo cuya masa no está distribuida igualmente en todas sus partes, de modo que esta se halla más acumulada en un hemisferio que en otro, presentando así la figura de un ovoide irregular. La forma de una pera daria una idea más ó ménos aproximada á la del cuerpo lunar. Pongamos la Tierra en T (fig. 121) y la Luna en L con la forma que hemos dicho. Como la atraccion obra en razon directa de la masa é inversa del cuadrado de la distancia, el hemisferio *a* de la Luna, en que se halla mayor cantidad de masa, será atraida por la tierra con una fuerza tanto más grande, cuanto es mayor la cantidad de moléculas existentes en dicho hemisferio que en el opuesto. Ahora bien; como esa mayor cantidad de masa existe siempre en el hemisferio *a*, dicho hemisferio será el que siempre sea atraido por la tierra, y nunca el opuesto *b*. Luego la Luna debe presentar siempre el mismo hemisferio *man* á la tierra.



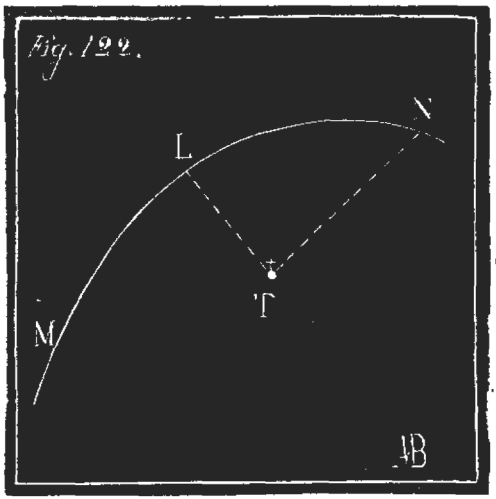
metro terrestre bajo un ángulo de casi 2 grados. En la conjuncion veria á la Tierra toda iluminada, y en la oposicion como se le presentaria completamente oscura, podria producirle un eclipse total del sol de casi dos horas. Pero seria imposible que viese la Tierra un observador en el hemisferio lunar, opuesto al que la Luna presenta á la Tierra.

198. De esta relacion mútua que existe entre las fases de la Luna y las de la Tierra, por reflejarse mútuamente la luz que reciben del sol, nace que la parte oscura de la una, careciendo de la luz directa del sol, sea debilmente iluminada por la luz reflejada de la otra. Así vemos que la Luna ilumina la Tierra en las noches oscuras, y á su vez la Tierra ilumina la parte oscura de la Luna que no recibe directamente la luz del Sol. A esto se debe el que se vea ligeramente iluminado todo lo demás del disco lunar que se halla en la sombra, cuando la Luna está cerca de la conjuncion, ó pasado de ella algunos grados, época en que presenta una faz muy delgada. Esta débil claridad debida únicamente á luz reflejada por la tierra, se llama luz *cenicienta*.

§ 4.

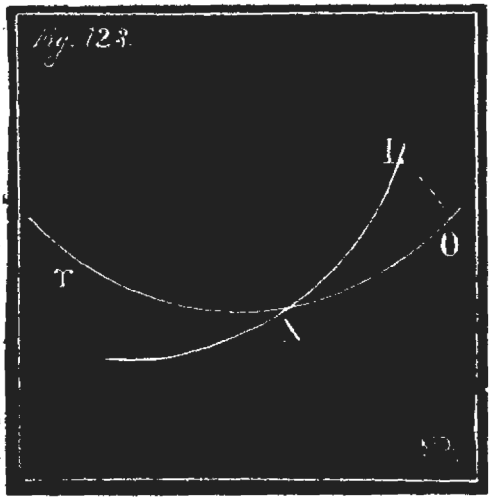
Naturaleza de la órbita lunar.

199. Como la tierra y los planetas que giran al rededor del sol, siguen las leyes de Kepler, fundadas en el principio de la atraccion formulado por Newton, debemos decir que otro tanto hace la Luna, al describir su órbita al rededor de la tierra. Fácil es demostrar que esta es elíptica, y por lo tanto que sigue la ley general de la de los otros planetas. Sea T la posicion de la Tierra (fig. 122), MN una parte de la órbita lunar. Hallándose la Luna en L, se podrá calcular su distancia al nodo N, ó sea el lado LN: ó lo que es lo mismo, podrá



hallarse el valor del ángulo LTN. Como esta operacion puede hacerse para cualquiera posicion de la Luna, podrá hallarse, no solo los valores de los diferentes ángulos, sino convencerse que siendo las distancias TL, TN inversamente proporcionales á los diámetros aparentes de la Luna, construyendo la curva que ésta describe en su curso, se vé que es una elipse, cuya excentricidad no es mayor que $\frac{1}{18}$ más grande, sin embargo, que la de la órbita terrestre.

200. Si ahora se mide, en cualquiera posicion de la Luna sobre su órbita, el ángulo LNO, [fig. 123], sacado por las fórmulas trigonométricas, siendo LO la latitud, y ♈O la longitud de la Luna, resulta para todas las observaciones que dicho ángulo es constante é igual á 5°,9′, y aunque se halle alguna pequeña variacion, esta no excede de 11′; por lo tanto, hay que concluir que la órbita de la Luna es sensiblemente plana.



§. 5.

Retrogradacion de los nodos.

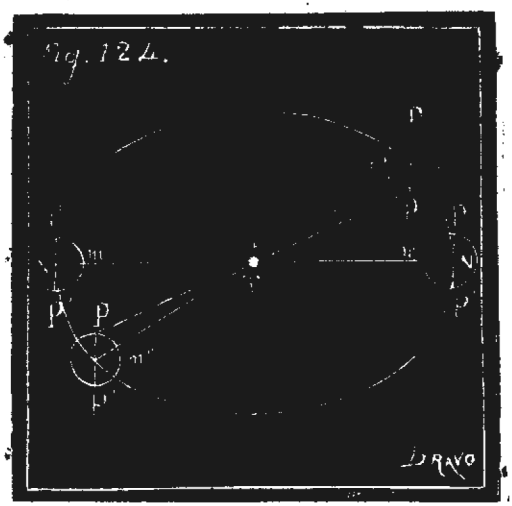
201. Si se observan las posiciones de la Luna con relacion á las estrellas, se verá que aquella no vuelve exactamente á la misma posicion que ántes al fin de una revolucion. Esto indica claramente un movimiento en el plano de la órbita; y en efecto, si se observa en cada revolucion sinódica la posicion de los nodos, ó sea, de los puntos en que la órbita lunar corta á la elíptica, es fácil reconocer que dichos puntos no están fijos, sino que tienen un movimiento retrógrado de Oriente á Occidente sobre la eclíptica. Esto es lo que se llama *retrogradacion de los nodos*, fenómeno parecido á la retrogradacion de los equinoccios. El valor medio de dicho movimiento es de 3′,10″,64 por dia, de modo que para volver al mismo punto, es

necesario un periodo de 6793,39 dias solares medios, ó lo que es lo mismo, casi 18 años $\frac{6}{10}$ de mes. De aquí se sigue que el eje de dicha órbita describe en 18 años un cono circular al rededor del eje de la eclíptica. Este periodo de 18 años dió motivo para creer que la nutacion del eje terrestre tuviera relacion con el movimiento del nodo lunar. Y en efecto, se halló dicha relacion entre la posicion del nodo lunar y del polo verdadero; es decir, que la ascension recta del polo verdadero con relacion al polo medio, estaba siempre más adelantada en un ángulo recto, con respecto á la longitud del nodo lunar. Las atracciones recíprocas de la Tierra y de la Luna suministran una explicacion de este fenómeno, así como la atraccion del sol sobre la parte elevada del Ecuador terrestre explica el orígen de la precesion de los equinoccios.

§ 6.

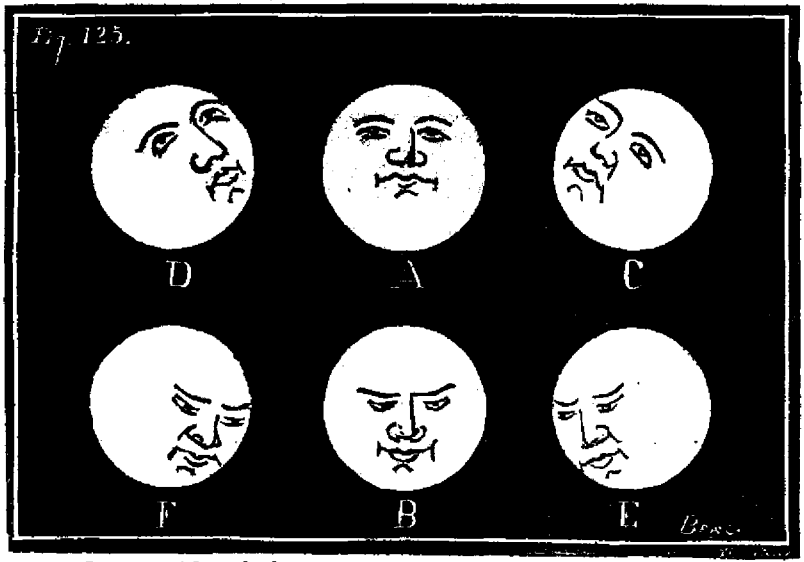
Libraciones de la Luna.

202. Hemos dicho anteriormente que la rotacion de la Luna y su revolucion al rededor de la tierra, se efectúa justamente en el mismo tiempo de 27^d, 7^h, 43^m, $4^s,71$. Aunque esto en la realidad sea exacto, con todo aparentemente está sujeto á cierta variacion que depende de la irregularidad de los movimientos mismos de la Luna. El eje de rotacion de la Luna no es perpendicular al plano de su órbita, sino que forma un ángulo de $3^o,30'$, de modo que queda casi perpendicular al plano de la órbita terrestre, es decir, con una pequeña inclinacion de poco más de grado y medio. De aquí resulta que llegando la Luna cerca de los nodos NN′ [fig. 124] serán visibles sus dos polos P y P′: pero cuando pasados los nodos, llega á su latitud máxima boreal, queda invisible al observador en T el polo superior P de la Luna, mientras que la visual se extiende



poco más allá del polo inferior P'. El mismo fenómeno en sentido contrario se verifica, cuando la Luna se halla en su latitud máxima austral, pues entonces el observador en T dirigirá su visual un poco más allá del polo superior P, mientras que le queda del todo invisible el polo inferior P'. De este modo, si una mancha *m* hallándose la Luna en los nodos, se veia en el centro del disco, en el primer caso se verá en *m'*, sobre la visual tirada del observador al centro de la Luna; y en el segundo se verá en *m''* debajo de dicha visual. Este movimiento aparente se denomina *libracion en latitud.*

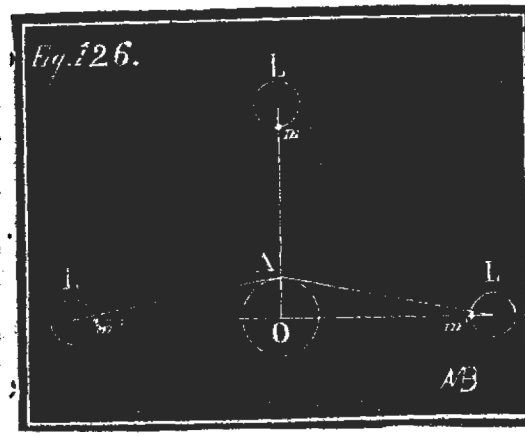
203. Un fenómeno parecido se verifica en el sentido de la longitud, y dá orígen á la *libracion en longitud.* Como el movimiento de rotacion es uniforme, y el de revolucion variable, siendo máxima la velocidad de la Luna en el perigeo y mínima en el apogeo un punto cualquiera de la superficie lunar ya se adelanta ya se atrasa con respecto al observador. De esto se sigue que el hemisferio lunar vuelto hácia la tierra, tiene aparentemente una especie de oscilacion en el sentido de su longitud, y de consiguiente, las manchas que se hallan en los bordes oriental y occidental aparecen y desaparecen alternativamente. Así podrá verse desde la tierra, ya un borde ya el otro del hemisferio opuesto. La fig. 125



puede dar una idea de las varias posiciones ó aspectos del hemisferio lunar, vuelto hácia la tierra en virtud de las libraciones. A y B representan la libracion en latitud boreal y austral. D y F la libracion oriental, la primera hallándose la luna cerca de su latitud

máxima boreal, la segunda en su latitud máxima austral. C y E representan la libracion en longitud occidental en los dos casos de latitud máxima.

204. Hay una tercera especie de libracion que se llama *diurna*, aparente tambien, y es una simple consecuencia de la paralaje lunar. Hallándose el observador en A (fig. 126.) sobre la superficie terrestre, y no en el centro O de la tierra, cambia de posicion en el espacio en virtud de la rotacion de la tierra, de modo que la visual AL tirada al centro de la Luna no atraviesa el mismo punto de la superficie lunar, cuando nuestro satélite se halla en el horizonte y en el zenit, sino que varía en el sentido de la rotacion *diurna*. Así la pequeña mancha *m*, que hallándose la luna en el meridiano, se vé en la visual que llega al centro del disco, se verá en *m'* ó en *m''* debajo de dicho visual, cuando la Luna está en el horizonte; sólo del punto O, centro de la Tierra, podria verse siempre en la direccion de la visual OL.



§ 7.

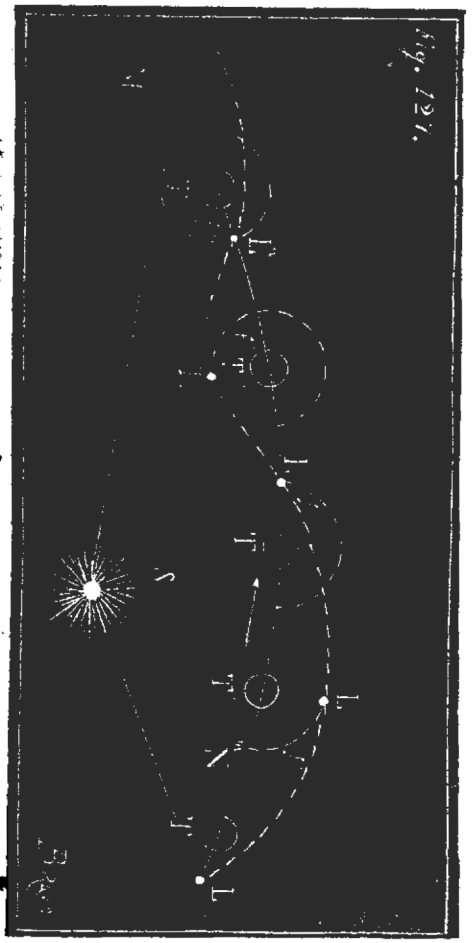
Paralaje de la Luna. Su distancia á la tierra.

205. Ya hemos indicado en el libro III cap. III § 3 el método para hallar la paralaje horizontal de este astro. De las observaciones que hicieron en el siglo pasado en 1756 Lalande y Lacaille, resulta que el valor medio de la paralaje lunar es 57',40", su máximum es =61',27", y el mínimum =53',53". De consiguiente, tomando por unidad el radio terrestre, la distancia media del centro de la tierra al centro de la Luna es =59r,617, ó sea, en número redondo, 60 radios terrestres: lo que dá 89,487 leguas =382,919 kilómetros, siendo su distancia mínima =55r,947, y la máxima =63r,802. Estudios más recientes determinan una paralaje algo más pequeña, es decir, =57',2", la que daria una distancia media de 60r,273, ó sea, casi 95,000 leguas.

§ 8.

Movimiento de la Luna al rededor del Sol.

206. Tratando del movimiento de revolucion de la Luna al rededor de la Tierra, hemos prescindido del movimiento de ésta en el espacio. Pero como la Tierra se mueve realmente describiendo una órbita al rededor del Sol, preciso es que arrastre consigo á la Luna, haciéndola describir una curva al rededor del Sol. Trátese, pues, de averiguar la naturaleza de esta curva, puesto que no puede prescindirse del movimiento elíptico que efectúa la Luna al rededor de la Tierra. Sea MN [fig. 127] la eclíptica, y supongamos á la Luna L en su primer cuarto ó cuarto creciente. Mientras la tierra en su órbita pasa de T á T′ la luna, siguiendo á la tierra describirá un cuadrante de su órbita LL′, equivalente á mL' y se hallará en oposicion en el punto L′. Pasando la tierra á las posiciones sucesivas en T″, T‴, Tᵛ, la Luna irá describiendo aparentemente los cuadrantes respectivos f', f'', f''', y en realidad, arrastrada por la tierra describirá los arcos L′ L″, L″ L‴, L‴ Lᵛ, trazando de este modo en el espacio una curva sinuosa que se llama *epicicloide*. Claro está que atendidos



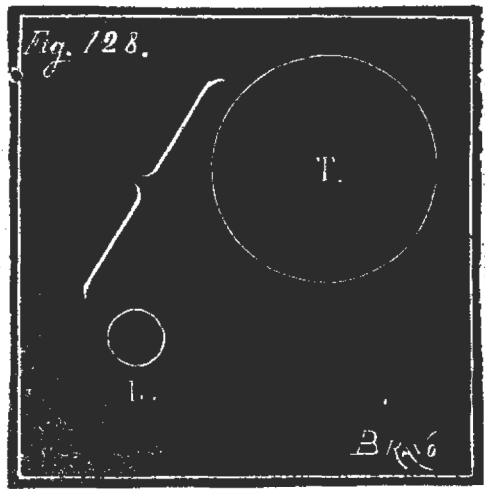
los movimientos irregulares en velocidad de la Tierra y de la Luna, dicha curva no puede ser simétrica en sus partes, ni igual en sus períodos. Debe necesariamente ser irregular, y todos sus puntos no podrán volver á coincidir sensiblemente, sino acabado el período del ciclo lunar. Es de advertir, sin embargo, que para dar á entender la forma de la curva descrita por la Luna al rededor del Sol, necesariamente se hallan exageradas las partes en la fig. 127, no siendo posible conservar la proporcion de distancias. En realidad dicha curva en el espacio, por la gran distancia de la Tierra al Sol, es una elipse ligeramente ondulada.

§ 9.

Diámetro y superficie de la Luna, su volúmen, masá y densidad.

207. El diámetro aparente de la Luna es en término medio $=31',26''5$; varía entre $29',21'',9$ y $33',31'',7$. El diámetro aparente de la Tierra visto de la Luna, ó sea el doble de la paralaje lunar, es $114',4'',16$. Luego, como los diámetros reales están en proporcion con los diámetros aparentes, resulta (tomando por diámetro medio de la luna aproximado $32'$):

$\frac{d}{D}=\frac{32'}{114',4'',16'}$, ó más simplemente $\frac{d}{D}=\frac{3}{11}$. Así el diámetro lunar es casi $\frac{3}{11}$ del diámetro terrestre, ó lo que es lo mismo, viene á tener una extension de 782 leguas. Por lo tanto, su radio $=391$ leguas, y su circunferencia $=2.500$ leguas aproximadamente.



208. Relacionando así mismo con la Tierra la superficie y volúmen de nuestro satélite, se halla por el cálculo que la superficie del globo lunar es la 13ª parte y su volúmen la 49ª parte de la Tierra. La relacion de magnitud entre la Luna y la Tierra está representada por la diferencia de los dos globos T y L de la fig. 128. Si se suponen dichos globos

situados á una distancia natural de $0^m,844$, quedará representada en su verdadera proporcion la distancia media entre los dos astros.

209. La masa de la luna es casi $\frac{1}{80}$ de la de la Tierra, el volúmen $\frac{1}{49}$ y la densidad poco más de $\frac{6}{10}$ ó más exactamente, 0,615: de consiguiente, la gravedad en la superficie lunar está casi reducida á $\frac{1}{3,600}$ de la gravedad terrestre.

§ 10.

Constitucion física de la Luna.

210. La luna es el astro cuya constitucion física, á diferencia de la de todos los demás planetas, ha podido estudiarse mejor por estar más cerca de la Tierra. Por medio del telescopio se reconoce que su superficie está llena de desigualdades, parecidas á la variedad de montañas y valles que vemos en la Tierra, con la diferencia de que habiéndose podido calcular la altude dichas montañas y picos elevadísimos, se ha hallado que una gran parte de ellos supera la altura de nuestras montañas más altas, pues hay algunas que pasan de 8.000 metros. La forma en que se nos presentan estas montañas, cuya mayor parte tiene un aspecto semejante á los cráteres de nuestros volcanes, manifiesta un estado de ignicion en que se ha hallado al ménos en otro tiempo nuestro satélite. El más grande de estos cráteres, llamado *Copérnico* [fig. 129] tiene una extension de 10 leguas de diámetro; se elevan en el medio unos picos, aunque no muy altos, y está lleno al rededor de un sin número de ramificaciones, seguro indicio de erupcio-

fig. 129.

"Copérnico", cráter de la Luna.

nes volcánicas. Parecidos á éste, aunque más pequeños, hay un gran número de cráteres que llevan el nombre de los más célebres astrónomos y filósofos, como Tycho-Brahé, Kepler, Petavio, etc. Las grandes extensiones en la parte más baja de la superficie lunar, aunque interrumpidas á veces por macisos y peñascos, arrojados quizás en épocas anteriores por la fuerza de alguna erupcion volcánica, y en otras partes por hoyos profundos á manera de pozos, llevan el nombre de *mares*, aunque hay pruebas evidentes de que no existe agua en ellos. Estas llanuras tienen ordinariamente poco poder reflector, y se ven más bien algo sombrías: las más extensas son las que se nos presentan aun á la simple vista como manchas oscuras, las que dan lugar á reconocer en la Luna cierta semejanza con el rostro humano. Estas llanuras ó mares han tomado el nombre de *mare crisium*, *mare serenitatis*, *mare tranquillitatis*, *oceanus procellarum* etc. No faltan aun en la superficie lunar sistemas y grupos de montañas, parecidos á los de nuestro globo, á los cuales se ha dado el nombre de *Alpes*, *Apeninos*, *Cáucaso*, etc.

211. La luna no tiene nubes ni nada que indique la presencia de una atmósfera. Lo prueba en primer lugar la sombra bien decidida en las fases crecientes y menguantes, pues si tuviese atmósfera se veria una especie de crepúsculo ó gradacion de luz en una determinada extension: 2º la ocultacion de las estrellas, pues cuando la luna pasa delante de una estrella, la ocultacion empieza y acaba exactamente en el instante mismo en que la visual del observador á la estrella, siendo tangente al borde del disco lunar al principio y al fin de la ocultacion, determina un diámetro ó una cuerda proporcional al tiempo empleado en recorrerla, pues en caso de existir la atmósfera, esta haria disminuir el tiempo que dura la ocultacion en razon del valor de la refraccion al principio y al fin del fenómeno. No existiendo, pues, atmósfera en la Luna, no puede haber tampoco rios, ni mares, ni masas líquidas volátiles, pues sabemos que á la presion atmosférica se debe la permanencia en estado líquido de un cuerpo volátil, como el agua, vaporizándose ésta instantáneamente en el vacío. Ni puede tampoco decirse que exista el agua en estado de vapor, pues á más de que no se ven nubes, ni cosa parecida, produciria el efecto de la atmósfera en la ocultacion de las estrellas, lo que no se verifica. Segun esto, no habrá tampoco vientos, ni corrientes, ni vegetacion, ni vida. De lo que se deduce que el cuerpo lunar es una masa muerta, en donde reina la soledad y el silencio, en donde de un calor, más abrasador que el de nuestra zona tórrida y que dura por el espacio de 15 dias en cada punto de la superficie lunar, se pasa instantáneamente y por igual tiempo á un frio mucho más intenso que el de nuestras regiones polares, y de una luz viví-

sima del medio dia á una noche tenebrosa y oscura sin crepúsculo ni aurora, y esto, aún en los lugares contiguos, pasando de un punto iluminado directamente por el sol á otro que se halle en la sombra: de donde finalmente, lejos de contemplar el hermoso azul que embellece nuestro cielo, se vería solo una bóveda negra; cuya oscuridad sería solo interrumpida por los puntos luminosos de las estrellas. El mismo Sol sobre ese fondo oscuro pareceria un disco luminoso y bien terminado, pero su luz no se extenderia á las partes que no recibiesen sus rayos directos. Sin embargo, si hubiese habitantes en la Luna, el espectáculo asombroso para ellos, seria ver á nuestra tierra como un disco luminoso de casi dos grados de diámetro, siempre fijo en un punto (salvo las pequeñas oscilaciones debidas á las libraciones de la Luna) pasar por las diferentes fases como la Luna para nosotros, sin poder quizás distinguir perfectamente la configuracion de nuestros mares y continentes por las contínuas variaciones de nuestra atmósfera.

§ 11.

De las mareas.

212. Por lo que acabamos de decir, parecerá á alguno, que nuestro satélite nos es del todo inútil: pero no es así; pues su influjo sobre nuestro globo es muy grande y sumamente benéfico á sus habitantes. En efecto, él, á más de iluminarnos de noche y favorecer la vegetacion en general, contribuye como agente principal á tener las aguas del mar en contínuo movimiento: pues si ellas permanecieran estancadas, causarian un gravísimo perjuicio á los moradores de la Tierra. Este movimiento del mar, muy distinto del que producen los vientos, es periódico, y eleva sus aguas por seis horas y algo más, dos veces al dia, y las deprime por otras tantas alternativamente, y es lo que se comprende bajo el nombre de *mareas*. Las aguas al elevarse, invaden las playas, y al deprimirse se retiran de las mismas para volver de nuevo á subir y bajar sucesivamente en un tiempo casi igual. A esta elevacion de las aguas se dá el nombre de flujo ó de *marea entrante*, y á su depresion ó descenso el de *reflujo* ó de *marea saliente* ó *vaciante*. El momento en que así las aguas llegan á su mayor altura se llama *Pleamar*, y el de su mayor depresion *Bajamar*. *El flujo* y su consiguiente *reflujo* constituye una marea entera.

213. Las mareas tienen tres periodos principales, el diurno, el mensual y el anual. El *diurno* depende de la rotacion diaria de la tierra sobre su eje; en virtud de la cual, pasando la luna dos veces

por nuestro meridiano, una por el superior y otra por el inferior, produce dos mareas: y por cuanto la luna emplea 24^h, 50^m, 28^s,3 en volver á un mismo meridiano, lo que constituye un dia lunar, debieran al parecer necesitar igual tiempo para su desarrollo las dos mareas: por lo cual asientan comunmente los autores, que la marea se retarda 50^m al dia, lo que no es exacto. En las sizigias, cuyas mareas se llaman de *aguas vivas*, se retardan de ordinario tan solo 28^m, y al contrario, como hora y media en las cuadraturas, cuyas mareas se llaman de *aguas muertas* [1]. Frecuentemente la marea tarda más en bajar que en subir, y siempre es muy lento su movimiento en la pleamar y bajamar, por lo cual se llama *marea parada*, el cual se vá haciendo más acelerado hasta su media carrera. Su altura varía en cada lugar y tambien cada dia en un mismo lugar.

Por *altura total* de una marea se entiende la diferencia de nivel que promedia entre la pleamar y la bajamar; sin embargo, la mitad de esta diferencia se dá comunmente por medida de la marea: mas como ella unas veces baja más de lo que sube, y otras al revés, es más acertado tomar por su altura lo que el agua se eleva sobre el nivel medio del mar.

El movimiento *mensual* depende del movimiento de translacion que tiene la Luna al rededor de la Tierra; en virtud del cual ella se coloca en un mismo meridiano con el Sol, á saber, en los Novilunios y Plenilunios, y luégo se vá alejando del mismo: de suerte que viene á distar de él noventa grados en las cuadraturas. En el primer caso, ó sea en las sizigias, se verifican las altas mareas, y estas van disminuyendo dia por dia hasta despues de las cuadraturas para volver de nuevo á crecer por idéntico órden; y de ordinario cuanto menor es la marea en estas, tanto mayor es ella en la sizigia subsiguiente. La diferencia entre la una y las otras es muy desigual. Así, para dar un ejemplo, en las costas de Chile suele ser de 6 pulgadas la altura total, pero entre las islas de Chiloé y costas adyacentes es mayor y hácia las bocas del Reloncavi varía entre 16 y 28 pulgadas. Por el contrario, las mareas bajas, ó sea en las cuadraturas, varían entre dos y ocho piés; alguna vez ha sido tan pequeña que ha pasado inadbertida, y podemos suponer que otro tanto suceda en aquellos raros parajes donde no suele haber más que una marea al dia. Aunque haya dos mareas cada dia, no habrá 60 cada mes, sino 58, porque se pierden dos en cada lunacion á causa de su retardo diario.

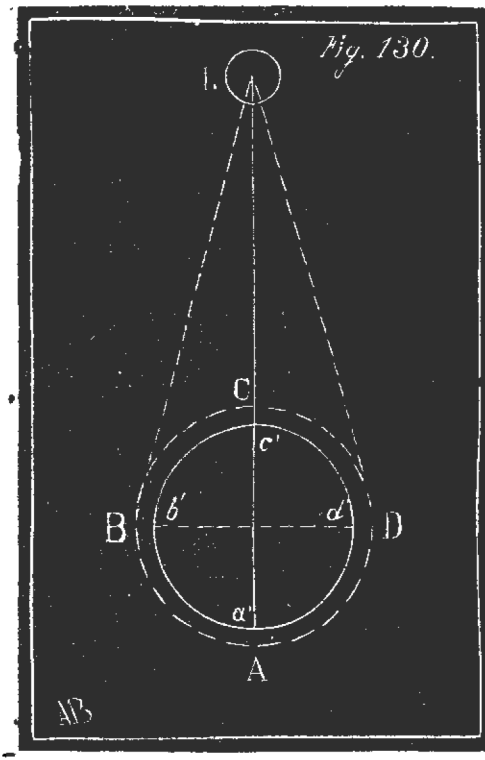
(1) El P. Francisco Enrich que construyó un aparato á propósito para medir la altura de la marea en Melipullí, al Sur de Chile, asegura que algunas de ellas hasta se han retardado 1^h, 45^m, en aquella localidad.

El periodo *anual* depende de la oblicuidad que tiene con la eclíptica la órbita de la Luna. Al cruzarla ésta, coaunando sus fuerzas atractivas con las del Sol, eleva las aguas del mar directamente en el mismo sentido que él; por lo cual tienen entonces lugar las más grandes mareas, á no ser que el uno, ó entrambos astros se hallen en su apogeo ó cerca de él. He aquí por qué se dice comunmente que las mareas mayores del año se verifican en los Equinoccios, y así seria sin duda, si el curso de las mareas no se viese cortado por los grandes continentes. Mas en nuestras costas, y generalmente en las que distan mucho del Ecuador, sucede lo contrario, verificándose las más grandes mareas en los solsticios, y en el del invierno son más altas todavía que en las del verano, como á su tiempo diremos.

214. Habiendo asentado que las mareas son producidas por la fuerza atractiva del Sol y de la Luna, justo es que demostremos cómo pueden hacerlo hallándose á una distancia tan grande de nuestro planeta. Recordemos, al efecto, que si la Tierra gira al rededor del Sol, es porque este la atrae poderosamente hácia sí; y reflexionemos que de distinto modo atrae la parte líquida que la sólida. Pues con respecto á esta, será su atraccion en proporcion de su distancia al centro, y con respecto á aquella la atraccion se verificará en razon de la distancia y relacion de cada una de sus moléculas. Estas en los líquidos ceden á cualquier ligero impulso, la de los sólidos tan solo á los más fuertes. Por lo tanto, el Sol eleva las aguas del Oceano sobre su nivel, por tenerlas más cercanas que el centro de la Tierra; las que tiene verticalmente en su direccion las eleva con toda su fuerza de atraccion, pero las demás con fuerza tanto menor cuanto más desviadas se encuentran de su vertical, pues que sobre ellas obra no directa sino oblícuamente. Al llegar las aguas á tal altura que la atraccion de la Tierra, que al mismo tiempo las solicita hácia su centro, neutralice la del sol, por serle igual y contraria, las aguas quedarán estacionarias; mas tan luégo como la atraccion de este se debilite sobre aquel punto por avanzar él en su carrera, ellas desprendiéndose de su accion, caerán hácia su propio centro. Y como que este descenso y la precedente elevacion son constantes y sucesivas, se producirá un contínuo flujo y reflujo en los mares muy extensos.

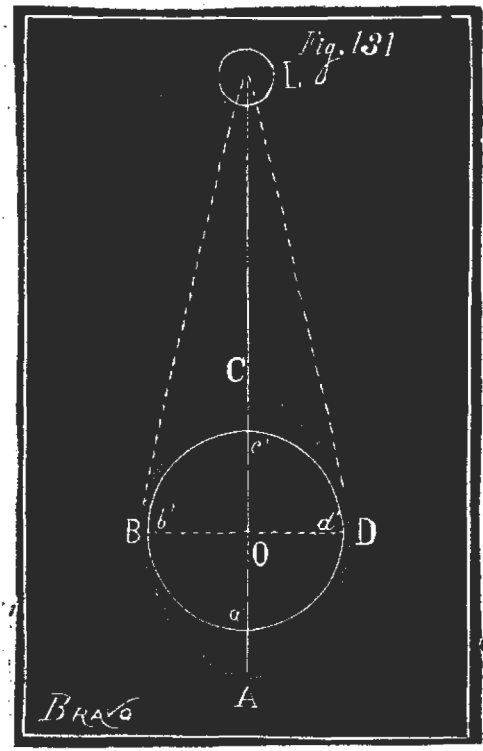
Análoga cosa sucede con la Luna, la cual al sentirse atraida por nuestro planeta, reacciona sobre él, atrayéndolo hácia sí al mismo modo y en la forma que lo hace el Sol. Cuando los dos astros se hallan en línea recta con el centro de la Tierra, ellos mancomunando sus fuerzas, atraen las aguas en una misma direccion; más cuando se hallan en línea distinta, tiende cada uno de ellos á atraerlas en la suya propia, aunque con intensidad diferente: las aguas, sin embar-

go, no seguirán ni la una ni la otra, sino la resultante de ambas fuerzas, así en su intensidad como en su direccion, y la marea que habrá entonces en el hemisferio sobre que se hallan el Sol y la Luna, será producida por entrambos. Esto es muy natural: lo singular es que al mismo tiempo tiene lugar otra marea en el hemisferio opuesto y en el punto diametralmente opuesto, y la opinion comun de los sábios es que la produce la atraccion de los mismos astros.



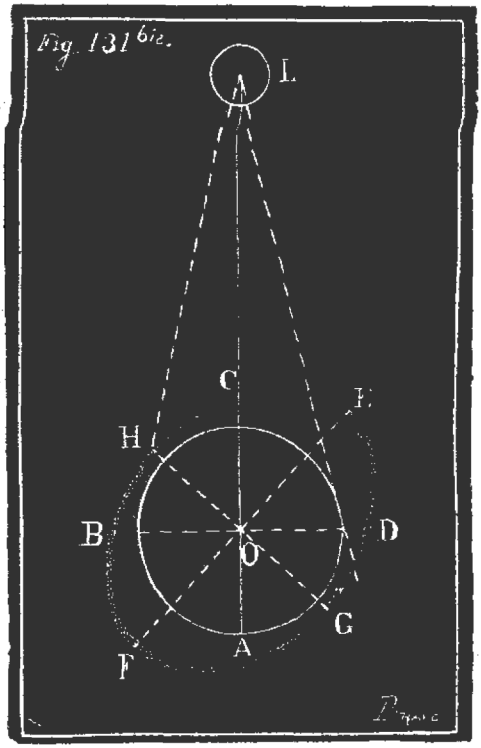
Para demostrarlo, figurémonos que A, B, C, y D, es un globo [fig. 130] cuya parte interior a' b' c' d' sea sólida, y la exterior A, B, C, D, sea un líquido homogéneo, cuya densidad sea menor que la de la parte sólida, y cuyas moléculas, aunque incompresibles, se sientan fuertemente atraidas hácia su centro O por su fuerza centrípeta, ó sea su gravedad. Demos además que toda esta masa esté circuida por otro cuerpo fluido, el cual, gravitando sobre aquel líquido, lo oprima con fuerza igual sobre cada punto de su superficie hácia el centro O. Claro está que dicho líquido se colocará al rededor de la parte sólida a' b' c' d', de manera que forme en todo su contorno la capa de igual espesor A B C D. Imaginémonos así mismo, que el tal globo siente en todos sus puntos la atraccion de otro cuerpo L. Desde luégo las moléculas de la *masa líquida* A B C D, que caen verticalmente debajo del cuerpo L, serán atraidas por él directamente, y las restantes lo serán en direcciones más ó ménos convergentes, siéndolo las unas y las otras con fuerzas inversamente proporcionales al cuadrado de sus respec-

tivas distancias [fig. 131]. Síguese de aquí que las moléculas líquidas comprendidas entre C y c' serán atraidas con mayor fuerza que las sólidas del punto c', así por distar ménos que estas del cuerpo L, como tambien porque las de c' tan solo podrán seguir la atraccion comun á toda la masa sólida, representada por la de su centro O; pues que su solidez no les permite separarse ni siquiera de las que les están contíguas, por sola la atraccion que sobre ellas ejerce el cuerpo L. Por lo tanto, las expresadas moléculas Cc' se elevarán sobre la superficie del dicho globo, tendiendo á separarse del punto c', y las que se les siguen inmediatamente, correrán á reemplazar los puntos que ellas vayan dejando, y así sucesivamente hasta las de los puntos B y D. Estas, por otra parte, y á proporcion todas las comprendidas entre estos puntos y el punto C, hallándose solicitadas ya por las fuerzas de atraccion oblícua LB y LD, y por la fuerza de la gravedad BO y DO, que es el radio, tendrán que seguir la resultante, y así vendrán á deprimirse los puntos B y D. Las moléculas de la parte inferior del líquido comprendidas entre A y a' sufrirán una atraccion menor que la masa sólida, y la mínima en el punto A, por ser el más lejano; por lo cual tenderán á quedarse como atrás; y las moléculas comprendidas entre AB y AD vendrán por la razon poco ha expresada á reemplazar el espacio que aquellas vayan dejando, contribuyendo así á la depresion del líquido en los puntos B y D, depresion que será además favorecida por la presion lateral, que en estos puntos ejerce simultáneamente el flúido que gravita sobre toda la superficie del globo. Y



si éste se halla en contínua y rápida rotacion sobre su eje AC, el líquido se elevará por igual en los puntos A y C buscando el equilibrio connatural á los cuerpos en tal estado, y convertirá la forma esférica de aquel globo en elipsoidal.

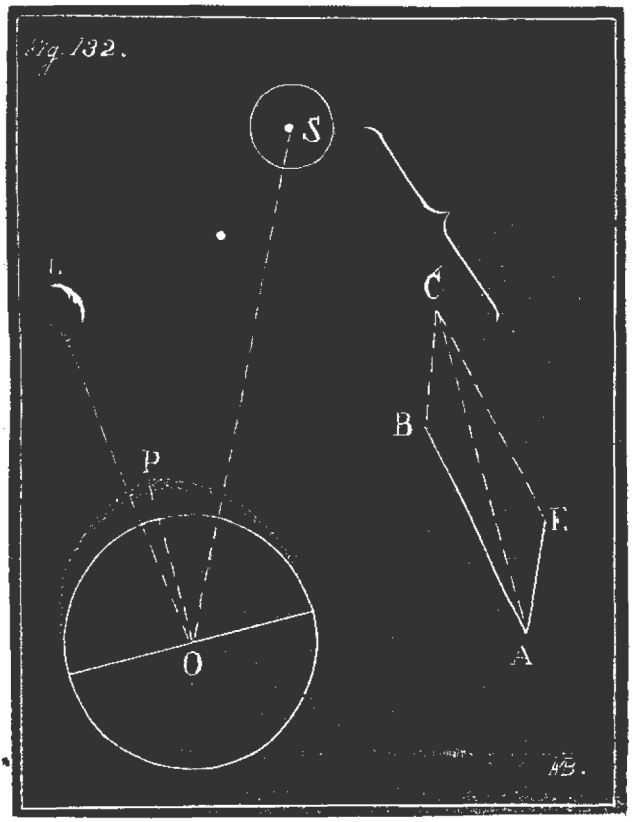
215. Si el líquido obedeciera instantáneamente á la accion que tiende á levantarlo en los puntos A y C, y á deprimirlo en los B y D, toda la masa líquida tomaria al momento la forma que indica la fig. 131. Pero como el líquido no obedece en realidad sino lentamente á la accion del cuerpo L, á causa de la resistencia de sus moléculas, su mayor elevacion no se verificará cuando el cuerpo L pasa por la recta OL, sino algun tiempo despues; de modo que la forma elipsoidal vendrá á verificarse fuera de dicha recta, en dos puntos opuestos E y F [fig. 131 bis.], y la correspondiente depresion en los puntos H y G, fuera de la recta perpendicular á la recta OL. Puesto que el cuerpo L representa por sí el Sol y la Luna, (1) así como C y A, B y D los puntos diametralmente opuestos del Océano, sus aguas llegarán á su mayor altura todos los dias despues de haber la resultante de entrambas fuerzas atractivas pasado por el meridiano del lugar, ó sea por el punto C; y bajarán en seguida hasta llegar á su mayor depresion, para volver á elevarse de nuevo hasta su mayor



(1) Muchos autores dicen simplemente la Luna para facilitar la inteligencia; más como luego se deduce la falsa consecuencia de que la pleamar se verifica despues del paso de la Luna por el meridiano, preferimos llamar desde luégo al Sol y la Luna principales agentes de las mareas, aunque no lo sean con la misma intensidad.

altura, despues que la misma resultante pase por el meridiano inferior, ó sea, por el punto A.

216. Así sucederia exactamente en nuestro globo terrestre, si toda su superficie estuviese cubierta de agua y á igual profundidad, y si el Sol y la Luna ejercieran siempre su atraccion en un mismo sentido; pero como no se verifica ni una ni otra cosa, son muy variables el tiempo, duracion y magnitud de las mareas. En efecto, los mares no solo se encuentran separados por grandes continentes que interceptan su flujo y reflujo, sino que tambien están poblados de islas que alteran su curso; el cual modifican asimismo la diversa profundidad de los mismos mares y la desigualdad de su fondo. Mientras el Sol dá aparentemente una vuelta por la bóveda celeste, la Luna dá realmente algo más de doce vueltas por la misma; y por consiguiente, solamente podrá ésta ejercer su accion sobre las aguas en el mismo sentido que aquel en los Novilunios, y no en todos ellos, á causa de no coincidir su órbita ni con el Ecuador, ni con la Eclíptica. Hallándose pues, las aguas atraidas por estas dos fuerzas en direcciones casi siempre distintas, tendrán que seguir la resultante de ellas, segun su di-

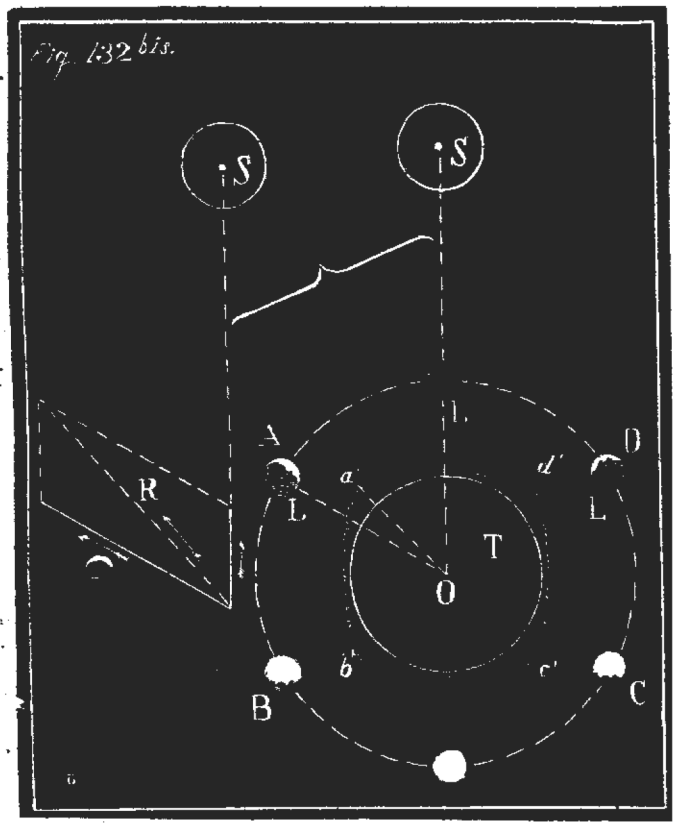


reccion é intensidad respectivas al modo que representa la fig. 132, en la cual sea T la Tierra, S el Sol, y L la Luna, ocupando los dos astros una posicion análoga á la de la figura. Y por cuanto la atraccion del Sol sobre la Tierra es á la de la Luna sobre la misma, como 1:2,05, por obrar la atraccion celeste en razon directa de las masas, é inversa del cuadrado de sus distancias, si AB representa la atraccion lunar, AE representará la solar y AC será la resultante, á la que corresponde en la realidad la direccion OP y en P se hallará el vértice del elipsoide acuoso, ó sea, el punto culminante de la marea: empero, ¿cómo podrá ser cierta la proporcion indicada, siendo la masa del Sol 31,240.000 veces más grande que la de la Luna? Es preciso reflexionar que el Sol dista tambien de la Tierra trescientas ochenta y ocho mil veces más que la Luna, cuando los dos astros se hallan en su distancia media. En variando esta distancia, varía tambien la proporcion. La atraccion mayor de cada uno de ellos será cuando se hallen en su perigeo, y la menor cuando alcancen á su apogeo: y como esta diferencia es cerca de once mil leguas en la Luna, y de 551,320 leguas en el Sol, podrá ser muy grande tambien la diferencia que tienen las mareas aun en las sizigias.

217. La otra causa es la distinta posicion de ambos astros. Claro está que la atraccion directa es más poderosa que la oblícua; y así hallándose los astros en la posicion vertical atraen las aguas con toda la intensidad de su fuerza, mientras que dicha intensidad será tanto menor cuanto más se desvían los astros de su línea vertical, bien sea en ascension recta, ó sea hácia el Este ó el Oeste, bien sea en declinacion, es decir, hácia el Norte ó el Sur. Por lo tanto, así el Sol como la Luna ejercen además su atraccion sobre las aguas en razon inversa de la distancia en que se encuentran con respecto al zenit del lugar, cuyas mareas se consideran.

Esta es la verdadera causa de que en los Equinoccios la marea no alcanza á los polos, y sea casi insignificante en los mares polares; de que en los solsticios sea bien pequeña más allá del círculo polar en su respectivo hemisferio, y enteramente nula en el del opuesto; de que haya *bajamar* á los 90°, al Este y al Oeste de cualquier punto en que haya al mismo tiempo *pleamar;* y de que sean muy bajas las mareas en las cuadraturas de la Luna, pues que en ellas la resultante de las dos fuerzas atractivas es la menor posible, á causa de la posicion relativa del Sol y de la Luna, ejerciendo ésta su atraccion en ángulo recto con la de aquel. Muchos dicen que en tales circunstancias el Sol destruye la accion de la Luna: lo cual no es cierto, por cuanto no le es diametralmente opuesta. Consúltese el paralelógramo de las fuerzas, y se reconocerá que en este caso su diagonal es la verdadera resultante, como en cualquiera otro. Esta neutraliza-

cion de fuerzas debiera, al parecer, verificarse en los plenilunios, cuando el Sol obra en un sentido diametralmente opuesto al de la Luna; mas como cada uno de los dos astros al mismo tiempo que eleva las aguas en el hemisferio sobre que se halla, las eleva tambien, segun hemos dicho anteriormente, en el opuesto, no se destruyen recíprocamente, sino que se unen entre sí, para producir el mismo efecto: por esta razon, los cálculos de las mareas se hacen, cual si entrambos astros se hallaran sobre un mismo hemisferio. Con todo, la experiencia nos enseña que la accion directa es más eficaz que la inversa; pues que siempre en los plenilunios suben las mareas más que en los novilunios, en igualdad de fuerzas atractivas.



Además, se deduce del mismo principio que la pleamar no siempre se verifica despues que la Luna haya pasado por el meridiano de

un lugar, sino que ya antes, ya despues, ó al mismo tiempo, segun lo reclame la diagonal del expresado paralelógramo, cuya direccion será por cierto muy distinta, cuando la Luna marche sobre nuestro horizonte tras del Sol, como sucede en su primer cuarto, de cuando marche delante de él en su postrer cuarto. Para aclarar nuestra idea sea S la posicion del Sol, al medio dia (fig. 132 bis) L la de la Luna en sus cuartos respectivos, A B C D de su órbita. Cuando hácia su primer cuarto esté en A, la pleamar se verificará en *a'*, es decir, despues de haber pasado la Luna por el meridiano: cuando despues de su último cuarto se halla en D, la pleamar será en *d'*, es decir, antes que la Luna alcance al meridiano. Y por cuanto mientras la misma recorre el segundo cuarto, habrá tambien pleamar simultáneamente en *b'* y en *c'*, ella se realizará antes que la Luna llegue al meridiano: además, en alguno de los dias intermedios la pleamar coincidirá con su paso por el mismo. En todo caso siempre la direccion de la pleamar será indicada por la resultante R. Este órden de mareas, confirmado por la observacion, es constante; pero la hora se anticipará ó retardará, segun fuera el *establecimiento del puerto*, ley á que se sujeta inviolablemente la naturaleza.

218. Llámase *establecimiento del puerto* la hora en que tiene lugar la pleamar en cualquier punto al tiempo de aquella sizigia, en la cual se encuentran simultáneamente el Sol y la Luna en el Ecuador, hallándose en su distancia media de la Tierra. Y como que este conjunto de circunstancias rara vez concurre, se toma como tal el término medio de un gran número de observaciones de las mareas correspondientes á las sizigias. Debe entenderse por marea de las sizigias aquella que alcanza mayor altura en cada una de ellas: la cual retarda dos ó tres mareas, segun la opinion comun de los autores. Sin embargo, en virtud de las observaciones hechas en algunos puntos determinados, como p. e. en el mar de Chiloé, aunque muchas se han atrasado solamente por tres mareas, otras se han atrasado tan solo por dos, y no han faltado algunas que se han atrasado solamente una ó ninguna, y alguna hasta se le ha anticipado. Bien puede ser esta una excepcion por las circunstancias locales de aquellos canales tan extensos, que rematan en la gran ensenada del rio Relocanví. En general, es de advertir que rarísima vez coincide la pleamar con el momento crítico de la sizigia; y el que se le anticipe ó no por algunas horas, influirá quizás en este trascendental fenómeno, cuya causa nos es aún desconocida. De creer es que ella sea análoga á la de los siguientes fenómenos, no ménos singulares é importantes.

219. De ordinario las mareas son más altas en las costas que en

alta mar, mayores en las costas escabrosas y entrecortadas que en las de playas tendidas y corridas por largas distancias; y tanto mayores, cuanto aquellas distan más del ecuador; y por último, en las occidentales son menores que en las orientales. Por consiguiente, en nuestra América son menores en las costas del Pacífico que en las del Atlántico: en la Patagonia más altas que en el Brasil, donde suelen tener de 4 á 5 piés, mientras en la embocadura del rio de Sta. Cruz alcanzan á 34 piés; así mismo, siendo de 2 á 4 piés en las del Perú y Ecuador, son de 22 á 26 en las islas de Chiloé, y hasta á 28 piés alcanzan en Melipullí, en las embocaduras del rio Relocanví.

Claro está que cuanto mayor sea la profundidad y la extension de los mares, tanto mayor será la masa de agua que elevará en pos de sí la atraccion combinada del Sol y de la Luna, y avanzando de contínuo esos astros hácia el poniente, á causa del movimiento de rotacion de la Tierra, irá la marea siguiendo el mismo curso de naciente á poniente; el cual será retardado algun tanto por los bajos, arrecifes, playas submarinas con que sus aguas irán rozando; tal vez será perturbado por ciertas islas que entrecortarán su carrera; y al fin será interrumpido totalmente por los grandes continentes que no le permitirán pasar adelante: y al estrellarse contra sus costas producirá efectos muy distintos que en alta mar, por donde las mareas se van sucediento tranquilamente las unas á las otras, cual manso oleajo impulsado por un viento suave y constante. ¿Qué hará, pues, la magestuosa ola-marea que comenzando á elevarse en las costas de África y Europa, cruza el espacioso océano atlántico y viene de flujo á reventar en las costas de América? Aglomerándose en ellas una ola sobre otra, sus aguas henchirán los puertos, golfos y ensenadas y se elevarán precisamente á mayor altura de la que designa el cálculo hecho en vista de sus datos normales, y luégo tendrán que retroceder. Parte de estas aguas volverán de reflujo hácia el naciente; pero no todas podrán hacerlo por cuanto las mareas que unas en pos de otras van llegando á las mismas playas se lo estorbarán; y así se descolgará ella hácia el Norte y el Sur con rápido curso formando una marea derivada ó de reflujo lateral, el cual será interrumpido por la sinuosidad de los golfos, profundidad de las ensenadas, salida de las puntas, extension de los cabos y escabrosidad de las playas, por las que se irán deslizando sin parar hasta llegar á los 90°, ó poco ménos de su partida. Dicha agua tendrá por un momento que entrar en combinacion con la de las mareas que llegan simultáneamente á las mismas costas por el naciente; de suerte que el espectador creerá llega á su playa una sola y simple marea, á pesar de ser ella una acumulacion de los reflujos laterales, que se han

venido combinando con las mareas de todos y cada uno de los lugares intermedios desde el punto culminante en que se formó la marea primordial ó intertropical.

220. Otro tanto sucederá en las costas occidentales de América, contra las cuales vendrá á estrellarse de reflujo la grande ola-marea, que habiendo comenzado en ellas corrió noventa grados por el Pacífico, hasta que la gravedad de sus aguas la precisó á desprenderse de la expresada atraccion, para volver de reflujo al punto de su partida. Al volver, pues, á nuestras costas se verá detenida en ellas, como la que viene de flujo á las del Atlántico, y tendrá que buscarse un nuevo curso corriendo hácia el N. y el S. con resultados idénticos al que acabamos de exponer. Y como que ésta ola derivada, ó sea reflujo lateral, tardará tanto más en llegar á cualquier puerto, cuanto más diste al N. ó S. del punto en que se verificó el vértice de la marea primordial, ó sea intertropical, tanto más se retardará su *establecimiento*. Este es comunmente allá en el Ecuador á las 12^h: á los 33° se verifica á las 9^h, 45^m, y más al Sur á las 12^h, 48^m más tarde que en el Ecuador. He dicho *comunmente*, pues no deja de sufrir notables variaciones, las que seria largo explicar.

Hasta en alta mar son tan distintas las horas de la pleamar en las sizigias, que ha sido necesario trazar un mapa parecido al de las corrientes magnéticas, que las indique; y esta su gran diferencia dependerá probablemente de la diversa profundidad de los mares, cuyo lecho es accidentado casi tanto como la superficie de la Tierra.

221. Otro fenómeno, no ménos singular, presentan las mareas; y es que las del dia no suelen ser iguales á las de la noche, siendo en invierno más altas las del dia que las de la noche y viceversa en verano. Al Sur de Chile esta diferencia suele ser como de un metro, y en Julio de 1876 llegó á ser 1^m,16 en tiempo de la sizigia. En las costas de Francia es mucho menor: ésta no pasará de 4 centímetros en Brest, cuya marea, segun los cálculos publicados para el año de 1880, debia ser un poco mayor que al Sur de Chile. Probablemente depende esta diferencia del paralelo en que se halla el vértice del elipsoide acuoso y del curso de la grande ola-marea, que se engendra por la formacion constante y sucesiva de éste. Comenzando ella en las costas del Pacífico corre al Poniente, hasta que su parte boreal se ataja en las costas orientales de Asia: su parte intertropical, aunque entrecortada por las muchas islas que yacen entre el Asia y el Australia, llegará á unirse con la que se forma en el mar de la India, para correr la costa oriental de Africa hasta el Cabo de Buena Esperanza, al cual habrá llegado ya directamente la parte austral de la mencionada ola-marea, despues de haber pasado por el Sur de aquel pequeño continente: y combinándose allí con las recien indi-

cadas, recorrerá la costa occidental del Africa y las de Europa, yendo á perderse en el mar Báltico. Esta aglomeracion de aguas contribuirá poderosamente á que la marea del Atlántico sea mayor que la del Pacífico. En invierno apenas volverá á éste una pequeña cantidad de agua, á saber, la poca que pudo salvar el cabo de Hornos, por ser entonces apenas sensible la marea de aquella localidad. Pero no así en verano, cuando la grande ola-marea, cuyo vértice se formó bajo el trópico de Capricornio, vaya directamente y con gran pujanza á la costa de Patagonia por los pasos recien indicados, y doble casi en círculo el mencionado cabo. En doblándolo, ella se derivará hácia el N. por las costas occidentales, modificando las propias de ellas, especialmente las del reflujo: por lo cual las mareas de noche serán mayores que las del dia.

Los que se han sorprendido al ver que en el estrecho de Magallanes corria la marea hácia el Naciente, no habrán considerado lo que pasa en todos los canales y estrechos. Al entrar en ellos la marea, por un lado se vá atrasando tanto á causa del roce de sus aguas con el fondo y con las orillas, que antes de alcanzar al extremo, viene otro ramo de marea á entrar por él. Refluye, pues, sobre la primera, y toda la marea correrá en sentido inverso del ordinario.

222. El curso y velocidad de las mareas bien se merecian un párrafo especial, pero solamente advertiremos aquí por brevedad, que si bien el punto culminante de la ola-marea corre tanto como los astros que la producen, es decir, poco más de trescientas leguas por hora, no por esto las aguas de la superficie del mar con que ella se forma, corren otras tantas, por cuanto ellas no van corriendo unas tras otras, como en los rios, sino que las olas parciales se van sucediendo por instantes elevándose en virtud de la atraccion celeste, y descendiendo en virtud de su gravedad en cada uno de ellos. Este movimiento constante y sucesivo es comun á todas las moléculas del mar, aun á las que yacen en sus más profundas simas, y aunque en realidad sea él de abajo arriba y viceversa, como el flujo va sucesivamente avanzando hácia el poniente y el reflujo á su vez hácia el naciente, uno y otro producen en la superficie de las aguas una corriente, que en alta mar apenas se hace sensible, pero sí en las costas, canales y estrechos. Por tanto, segun las diferentes latitudes y circunstancias locales, será mayor ó menor la velocidad de la marea. Así á los 60° de latitud la marea recorre en un dia lunar casi 180 leguas por hora: del cabo de Buena esperanza á las islas Azores emplea 12 horas para recorrer ese espacio, y no más de tres horas para llegar de las Azores á la extremidad meridional de la Islandia.

CAPITULO II.

De los eclipses.

223. Describiendo la Luna al rededor de la Tierra una órbita que corta la eclíptica bajo un ángulo de 5°, 9′, no puede ménos de interponerse de vez en cuando entre la Tierra y el Sol, ó algunos astros que no se alejan de la eclíptica más de 5°, 9′, por uno y otro lado. En el primer caso, habrá un eclipse, en el segundo, una ocultacion. Este fenómeno puede ser producido por otros cuerpos á más de la Luna, como es por la tierra con respecto de la Luna, por los planetas con respecto á sus satélites, ó por cualquiera otro cuerpo opaco, con respecto á las estrellas. En general, la desaparicion de un astro luminoso por la interposicion de un cuerpo opaco se llama propiamente *eclipse* ú *ocultacion*. Pero se llama propiamente *eclipse*, cuando se produce el fenómeno por la sombra que un cuerpo arroja sobre otro; fuera de este caso habrá solo *ocultacion*, la cual siempre es total, mientras que el eclipse puede ser *total* ó *parcial*. Trataremos aquí de los eclipses de la Luna y del Sol, por ser éstos los que más llaman nuestra atencion.

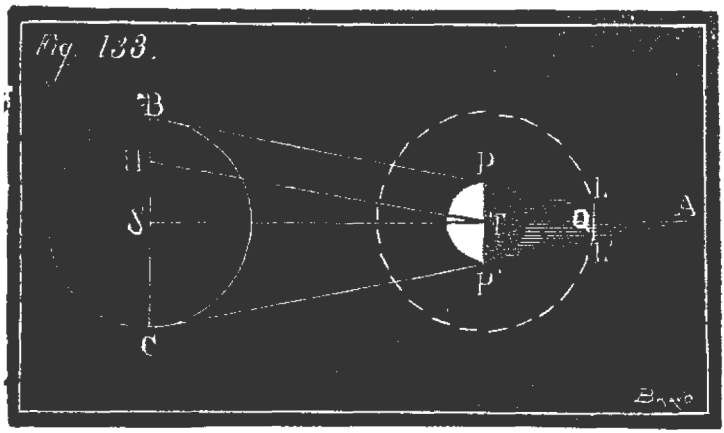
§ 1.

Eclipses de Luna.

224. Un eclipse de Luna puede verificarse únicamente cuando este astro se halla en oposicion, es decir, cuando se verifica la Luna llena, ó el plenilunio. En este caso, como la Tierra iluminada por el Sol arroja tras de sí un cono de sombra, podrá la Luna en su movimiento de traslacion penetrar en él total ó parcialmente; de aquí nace que puede tener lugar un eclipse de Luna total ó parcial. Para averiguar la probabilidad de que la Luna penetre del todo, ó en parte, en el cono sombrío de la tierra, es preciso resolver los siguientes problemas.

1º Hallar la longitud del cono sombrío de la Tierra, para averiguar si es mayor que una distancia lunar.

Para esto, sea R el radio del Sol S (fig. 133)
r el radio de la Tierra en T
r' el radio de la Luna en L
d la distancia de la Tierra al Sol
d' la distancia de la Luna á la Tierra
x la longitud del cono sombrío.



Como el límite del cono sombrío es determinado por las tangentes comunes BA, CA, si del centro de la Tierra T trazamos una recta TH, paralela á BA, de modo que sea BH $= r$, resultará en los dos triángulos semejantes TSH y ATP la proporcion siguiente:

TA : TS = TP : SH, ó sea $\frac{x}{d} = \frac{r}{R-r}$, de donde $x = \frac{dr}{R-r}$, sustituyendo los valores será: $x = \frac{23{,}371 \times r}{108{,}8} = 214{,}8 \times r$. Siendo, pues, la distancia del Sol á la Tierra = 23,371 radios terrestres, y el radio del sol = 108,8 radios, la longitud del cono sombrío TA, será en término medio = 214,8, ó sea 215 radios de la Tierra. Ahora bien: hemos visto que la distancia de la Luna á la Tierra, es poco más ó ménos de 60 radios terrestres, luego la Luna puede atravesar el cono sombrío de la Tierra, y por lo tanto, puede haber eclipse.

2º Hallar el radio de la seccion del cono sombrío á la distancia lunar, para averiguar si puede tener lugar un eclipse total de Luna.

Sea TL (fig. 133) la distancia de la Luna: la seccion del cono sombrío será LL', y su radio QL. Los dos triángulos semejantes ATP, AQL dan la proporcion:

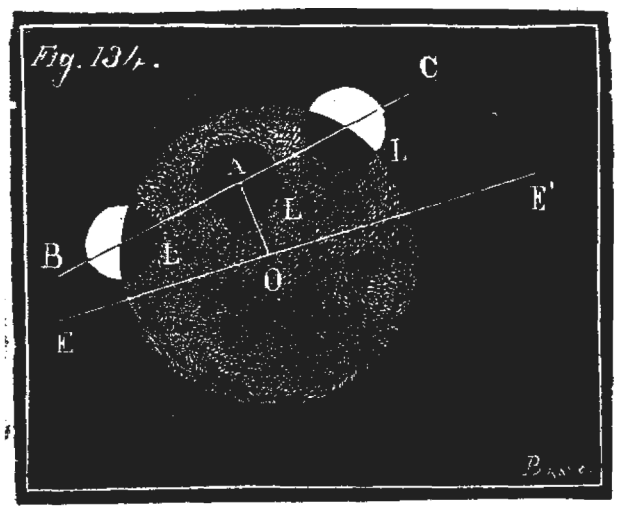
$$QL : TP = AQ : AT, \text{ ó sea}$$
$$QL : r :: [x - d'] : x$$

de donde $QL = \frac{[x - d'] r}{x}$; sustituyendo los valores

será: $QL = \frac{[215 - d'] r}{215} = \frac{155 \times r}{215} = 0{,}72\ r$, es decir, que el radio de la seccion es = 72 centésimas del radio terrestre, ó sea, casi $\frac{8}{11}$. Ahora bien; sabemos que la luna tiene un radio $\frac{3}{11}$ del radio terrestre, luego el diámetro de la seccion es 2,6 el diámetro de la Luna. De consiguiente, podrá la Luna penetrar toda entera en el cono de sombra arrojada por la tierra, y por lo tanto, podrá verificarse un eclipse total.

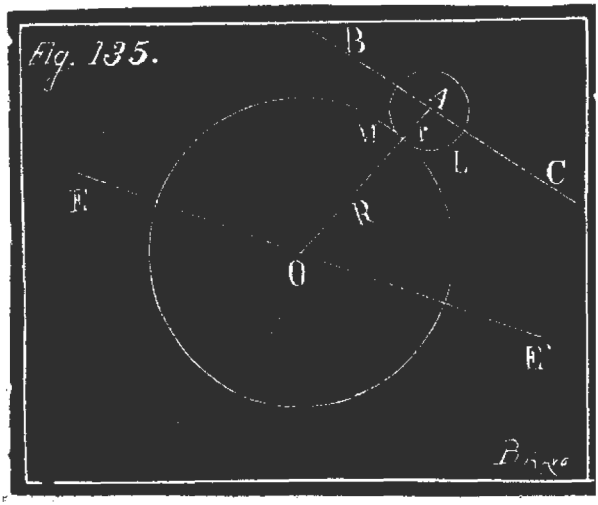
225. Si la Luna describiera su órbita en el plano de la eclíptica, á cada oposicion se verificaria un eclipse total de Luna; pero como dicha órbita está inclinada formando con la eclíptica un ángulo de 5°, 9′, acontece frecuentemente que nuestro satélite pasa ya á un lado, ya á otro del cono de sombra sin penetrar en él. Veamos cuáles son las condiciones que es necesario se verifiquen, para que tenga lugar el eclipse.

226. Sea EE′ la eclíptica [fig. 134] BC la órbita de la Luna. Tomemos un punto A de la órbita lunar, que esté más cerca del eje del cono sombrío, y que pase por el punto O. Imaginémonos una

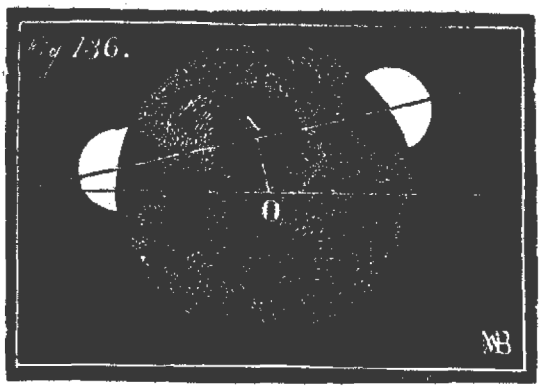


seccion perpendicular al eje, que pase por el punto dado A. Si la distancia OA de dicho punto de la órbita lunar al eje es menor que el radio de la seccion del cono, más el radio de la luna, es decir, si se verifica que $OA < R \times r$, llamando R el radio de la seccion y r el

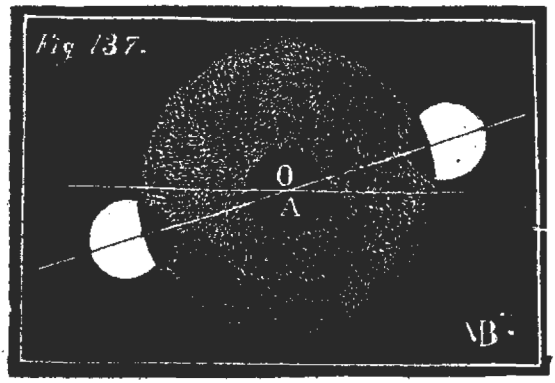
de la Luna, la Luna evidentemente encontrará en su marcha el cono sombrío, y habrá eclipse. Si fuera la distancia OA = R + r habria sólo un simple contacto del borde lunar con el cono de sombra [fig. 135]. Si fuera OA > R + r, el eclipse seria imposible, pues

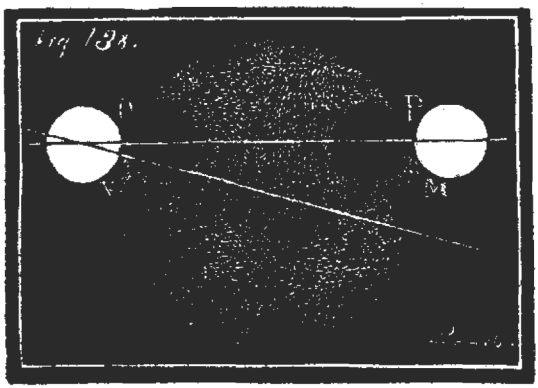


sabemos por la geometría que si la distancia de los centros de dos círculos es mayor que la suma de los radios, es imposible que los círculos sean tangentes: habrá distancia entre uno y otro: es necesario, pues, para que haya eclipse que la latitud de la Luna sea menor que la cantidad R+r. Si la distancia OA de la órbita lunar al eje del cono es menor que la diferencia de los radios, es decir, si se verifica que OA < R — r, la luna penetrará entonces toda entera en el cono sombrío [fig. 136] y el eclipse será total. Finalmente, siendo la latitud mínima = 0°, si se verifica la condicion que dicha distancia



OA = O, el eclipse no solo será total, sino que el centro de la luna coincidirá con el centro de la seccion, ó sea el eje del cono sombrío pasará por el centro de la luna (fig. 137) y el eclipse será total central. Se sigue de aquí que los eclipses de luna tienen lugar en el nodo de su órbita ó muy cerca de él, y solo á una determinada distancia de dicho nodo, á saber, cuando la latitud de la luna empieza á ser algo menor que la suma de los radios R + r. De todo lo dicho resulta: que el eclipse comienza cuando el borde oriental de la luna es tangente al cono sombrío en M [fig. 138], y se llama primer contacto: está en su máximum, cuando el centro de la Luna A [fig. 136] pasa por el punto más cercano al centro O de la seccion, y finalmente acaba, cuando el borde occidental de la Luna vuelve á tocar exteriormente el cono de sombra en N, y este se llama *último contacto*. El eclipse total empieza y acaba cuando el disco de la Luna es interiormente tangente al cono de sombra en P y O [fig. 138].





227. De los elementos más seguros de la órbita lunar se saca:

1º Que en el instante de la verdadera oposicion, la latitud máxima posible de la luna para que pueda haber eclipse, es = 63′,45″.

2º Que la distancia máxima de los centros de la Luna y del cono sombrío de la tierra en el instante del contacto, es $=63',29''$.

3º Que la distancia máxima posible de la Luna, ó del cono de sombra, al nodo lunar es $=12°,24'$.

4º Que será siempre cierto el eclipse si la distancia OA [fig. 138] es $< 51',57''$, é imposible, si es $> 63',45''$: entre estos límites puede ser dudoso, y es preciso atenerse á los cálculos más exactos de los elementos.

228 Los astrónomos, para apreciar la cantidad de un eclipse, acostumbran á dividir el diámetro lunar en doce partes que llaman *dígitos:* así la parte eclipsada se indica por el número de dígitos que entran en el cono de sombra de la tierra. En los eclipses totales que duran más ó ménos tiempo, esta cantidad excede no pocas veces de los 12 dígitos, lo que quiere decir, que si la Luna fuese más grande de lo que dá en realidad su diámetro aparente, quedaria aún eclipsada en su totalidad.

229. Los antiguos daban mucha importancia á los eclipses de Luna, pues no tenian otro medio para estimar las diferencias de longitud entre dos países; sin embargo la poca decision de la sombra terrestre era causa de que se cometiera algun error en la observacion del primero y último contacto. Cuatro minutos de error en el tiempo producian un grado de error en longitud, y como cada uno de los observadores, situados bajo diferentes meridianos, podia cometer bien un error de cuatro minutos, uno de más ú otro de ménos, la diferencia de longitud no podia estar segura sino entre 2°. Aun actualmente no es raro el que dos observadores difieran en 2 ó 3 minutos al determinar el tiempo del principio y del fin de un eclipse de Luna, porque es difícil distinguir el instante en que la sombra es tangente al disco lunar, estando rodeada de una penumbra, cuyo límite no es posible determinar. No obstante, cuando el eclipse ha empezado es mucho más fácil ver el límite de la sombra, y por lo tanto, se suele tomar la hora del contacto de la sombra con una mancha determinada de la Luna, para tener mayor precision. Ahora, como existen otros medios más seguros para averiguar con exactitud las longitudes entre los varios meridianos, ya no se dá tanta importancia á los eclipses de Luna.

230. Puesto que la dificultad de poder determinar exactamente el límite del cono sombrío depende de la penumbra, segun hemos dicho, no será inútil indicar aquí cómo esto se verifica. El cono de sombra está terininado ó engendrado por las tangentes externas MN, M'N' [fig. 139] del Sol á la Tierra, las cuales van á encontrarse en un punto A, al otro lado de la Tierra opuesto al Sol. Si á más de estas concebimos dos tangentes M'N, N'M que se crucen en K,

entre la Tierra y el Sol, éstas formarán al otro lado de la Tierra un cono truncado DNN'D', que se llama penumbra y cuyo efecto es el siguiente. Considerémos un punto *m* del borde oriental de la Luna; trazando por dicho punto una tangente al globo terrestre en N' y prolongándola hasta el Sol, ésta encontrará al disco solar en H. Ahora, la luz que recibe dicho punto *m* no será la de todo el Sol CC', sino sólo la de la parte CH, mientras que la otra parte C'H queda eclipsada por la Tierra. De esto se sigue que mientras el punto *m* esté más cerca de la tangente N'A, límite del cono sombrío, menor será la parte del disco solar que lo ilumina, y mayor la parte eclipsada. Si ahora suponemos que el punto *m* pasa á estar en *m'*, es decir, que entra en el cono de sombra, éste se hallará alumbrado por una pequeñísima fase del borde C del Sol, quedando casi completamente eclipsado todo lo demás del disco solar; por lo tanto, se hallará, por decirlo así, en luz y en tinieblas, es decir, habrá en dicho punto y en todos los demás que se hallan en la misma circunstancia, una indecision en el límite de la sombra. Al mismo tiempo, como disminuye la luz gradualmente y en proporcion á la distancia, siendo muy grande la que existe entre la Luna y la Tierra, no podrá el límite del cono sombrío proyectarse bien determinado sobre el disco lunar.

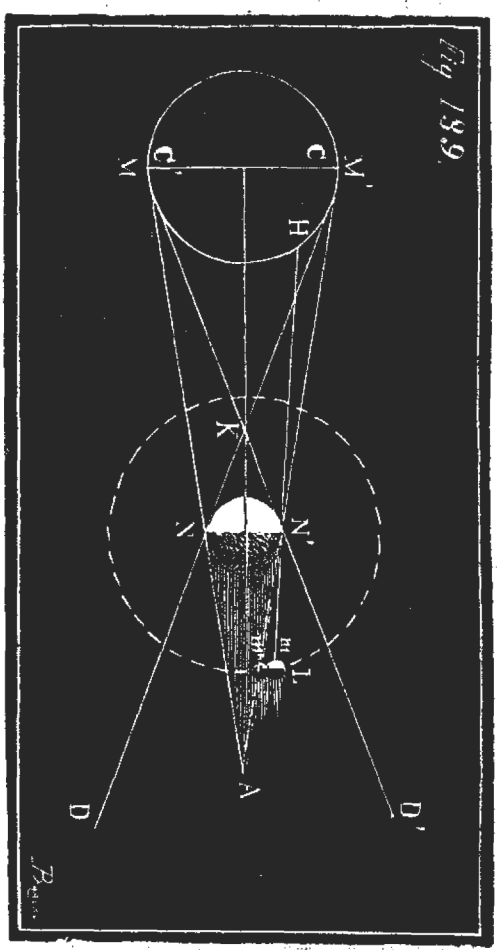


Fig. 139.

231. Otra causa tambien se agrega para producir esta indecision. La atmósfera terrestre refractando los rayos luminosos del sol que la atraviesan, los refleja detrás de la Tierra é ilumina la parte límite del cono sombrío; por lo tanto no puede éste verse tan oscuro, como sería, si no tuviera lugar la reflexion de la luz en la atmósfera terrestre. A esto se debe tambien el que la Luna no desaparezca enteramente, aun hallándose en el eje del cono, sino que se reviste de una luz roja oscura, como las nubes al ponerse el Sol, y en cierto modo aparece como un globo trasparente.

232. El eclipse de la Luna es visible al mismo tiempo á todo el hemisferio en que puede verse la Luna [1].

§ 2.

Eclipses del Sol.

233. Los eclipses de sol pueden verificarse solamente al tiempo de la conjuncion, es decir, cuando la Luna se halla entre la tierra y el sol, de modo que los tres astros forman aproximadamente una línea recta, condicion que tiene lugar en la luna nueva. Arrojando la luna en la parte opuesta al sol y vuelta hácia la tierra un cono sombrío, cuya longitud es variable, por ser variable la distancia al sol en el momento de la conjuncion, puede este cono ser mayor ó menor que la distancia de la Luna á la tierra. Ahora, segun la diferente posicion de la Luna con respecto al sol y á la tierra, puede haber tres especies de eclipses de sol: 1º será *total*, cuando la sombra lunar se pro-

(1) Facilmente puede trazarse sobre un globo el hemisferio que vé á la Luna en cada instante del eclipse. Supongamos que se vea en un punto cuya latitud sea $= \pm 33°,26',25''$ y long. $= 72°,58',32''$ O. la mitad del eclipse á las 9^h de la noche. Fornaremos este raciocinio: el sol á las 9^h de la noche debe hallarse á 3^h distante del meridiano inferior, ó sea á 45° de dicho meridiano, ó lo que es lo mismo á 135° del meridiano superior por el lado del poniente. La luna diametralmente opuesta al sol, estará tambien á 45° de distancia del meridiano, superior por el lado del Oriente; el observador, pues, que vea la luna en el meridiano estará á 45° más al Este del punto en cuestion. Sobre este meridiano, el lugar cuya latitud geográfica sea igual á la declinacion de la Luna, verá la Luna en su zenit. Ahora, desde este punto como centro, si se traza un círculo máximo sobre el globo, este círculo abrazará todos los países que ven la luna en el instante de la mitad del eclipse. Lo mismo se practica para determinar los países que verán cualquiera otra fase del eclipse. Haciendo esta operacion para el principio y el fin, la parte que es comun á los dos círculos máximos que se tracen, abarcará todos los países que ven el eclipse en toda su duracion. Los que se hallen en las partes exteriores de estos dos círculos, y que no pertenecen sino á uno de los dos hemisferios del principio y del fin, verán solo una parte más ó ménos grande de la duracion del eclipse. Con todo, siendo necesario tener en cuenta la correccion de la refraccion atmosférica y del ángulo de paralaje, habrá que

yecta totalmente sobre la superficie terrestre; en este caso, el sol estará enteramente cubierto por el disco de la luna en todos los puntos por donde pasa la dicha sombra: 2º será *parcial* para todos los lugares que no hallándose en la sombra, se hallan sin embargo, en el cono de penumbra y por lo tanto en dichos puntos podrá verse el sol en parte cubierto por la luna: 3º la tercera especie de eclipse es *anular*, el cual tiene lugar, cuando la longitud del cono sombrío que arroja la luna, no llega á tocar la tierra, y como la penumbra al rededor de dicho cono es producida por el borde circular del sol, en los puntos de la superficie terrestre en que el eclipse es central, es decir, en donde los centros de la Luna y del sol se hallan en la misma visual del observador, se verá la luna entera proyectada sobre el disco solar, dejándose ver un anillo luminoso del mismo sol al rededor de ella. Para entender mejor las circunstancias de dichos eclipses, examinemos las condiciones en que deben verificarse, como lo hemos hecho para la Luna.

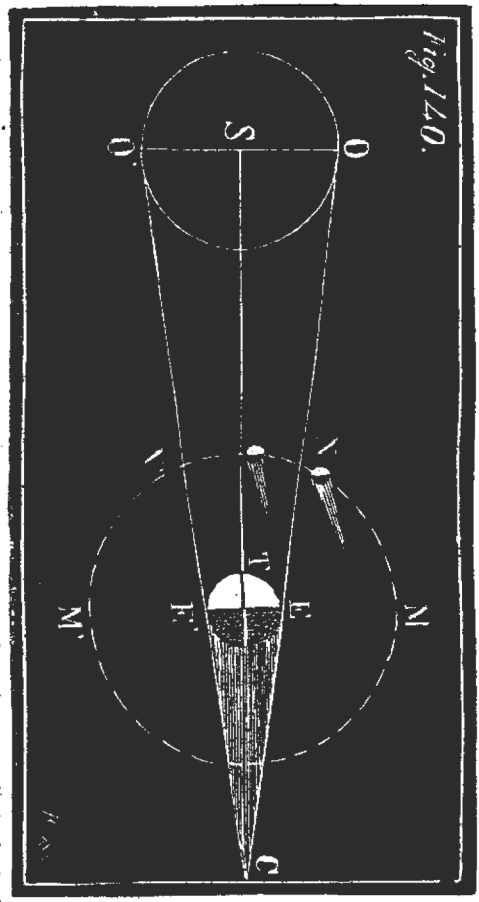


Fig. 140.

234. Consideremos el cono circunscrito al sol y á la tierra; los rayos luminosos que tocan la tierra, están comprendidos en la parte OEE'O' de dicho cono [fig. 140]; por lo tanto, si la Luna en-

añadir á estos dos hemisferios una zona de medio grado para corregir la primera, y restar una zona de un grado para corregir el efecto de la segunda: de lo que resulta una diminucion total de una zona circular de medio grado á los dos círculos máximos trazados para el principio y el fin del eclipse.

cuentra este cono, recorriendo su órbita MNN′, interceptará los rayos luminosos enviados por el sol á la tierra, y de consiguiente, habrá eclipse para algun punto de la tierra, cuando la Luna en N, penetrando en el cono luminoso OEE′O′, proyecta su sombra sobre la tierra, ó á lo menos el cono de penumbra. Para hallar la longitud del cono sombrío que arroja la Luna, no hay más que formar el mismo raciocinio que hemos hecho, cuando tratamos de averiguar la longitud del cono de sombra arrojado por la tierra, y nos resultará $x' = \frac{(d-d')\,r}{R-r'}$. Ahora, siendo variable la distancia $d-d'$ de la Luna al Sol, se sigue que la longitud del cono sombrío de la Luna será tambien variable. Esta es máxima cuando la Luna se halla en el perigeo, y el Sol en el apogeo, y es mínima, si se verifican las circunstancias inversas. La longitud de este cono puede variar segun cálculos practicados, entre 57′,76 y 61′,23 radios terrestres. Ahora bien, como la distancia de la Luna á la tierra iguala en término medio á 60 radios terrestres, se sigue que el cono sombrío que arroja la Luna, puede ser mayor ó menor de dicha cantidad. En el primer caso, la tierra encontrará en su marcha al cono sombrío, y en todos los puntos por donde pasa la seccion de dicho cono, la Luna proyectará una mancha oscura *ab* sobre la superficie terrestre (fig. 141), y por lo tanto, en todos los dichos puntos se

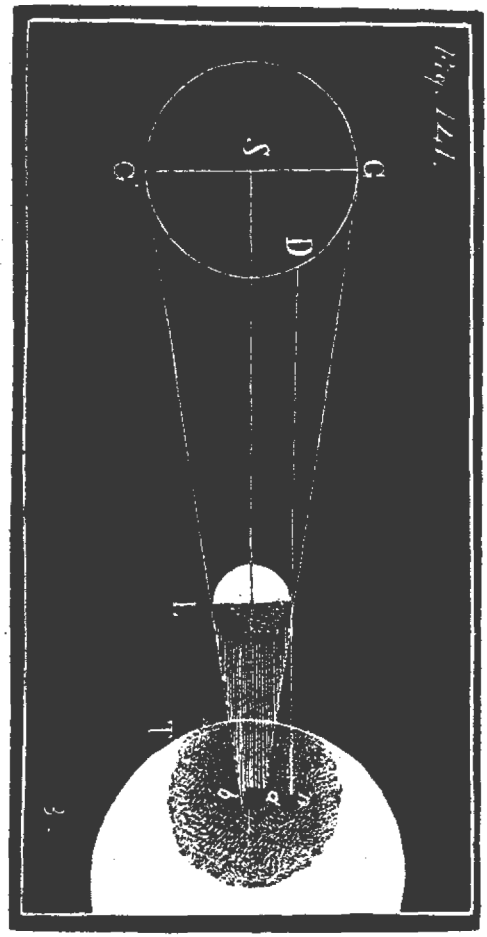


Fig. 141.

verificará un eclipse total de Sol. Además, en contornos de esa mancha oscura circular, la luna proyecta tambien su cono de penumbra, la cual produce en todos los puntos que abraza, un eclipse parcial de sol. En efecto, un observador colocado en el cono de penumbra en un punto cualquiera *n*, verá únicamente la parte DG del sol, mientras que la otra G'D le quedará invisible por la interposicion del disco lunar, y cuanto más el punto *n* se considere cerca de la sombra *ab* de la Luna sobre la superficie terrestre, tanto mayor será la parte eclipsada del sol, y menor la visible. En cualquier otro punto exterior al cono de penumbra, no podrá haber eclipse de ninguna especie.

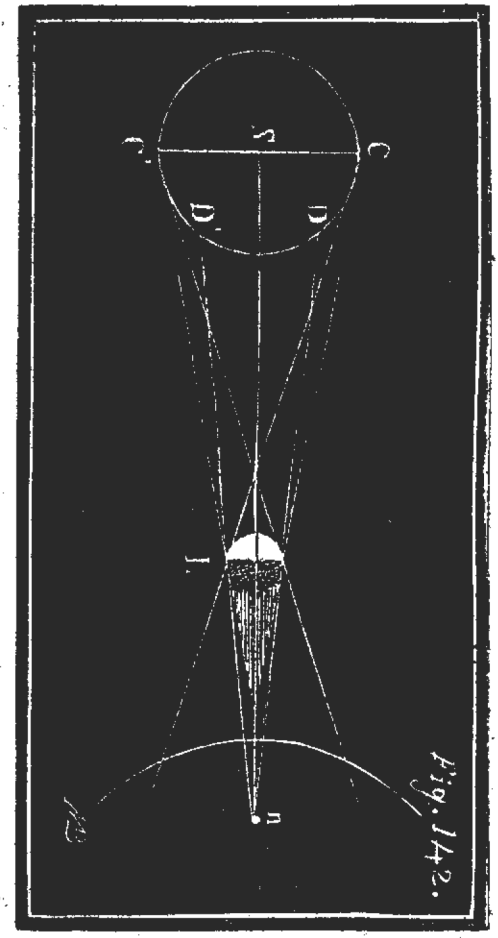
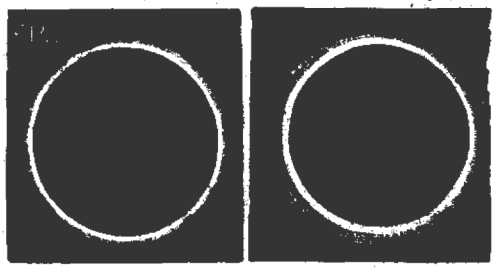


Fig. 142.

235. En el segundo caso, la luna proyectará solo una mancha semioscura sobre el globo terrestre, que es la penumbra, entre cuyos límites se verificará sólo un eclipse parcial. Como el cono sombrío de la Luna en este caso es menor que 60 radios terrestres, no podrá llegar hasta la tierra, ni podrá tener lugar el eclipse total de sol. Tomemos un punto *n* [fig. 142] que se halle en la extremidad de la línea que une los centros de la Luna y del sol. Trazando de dichos puntos las tangentes *n*D, *n*D' á los bordes oriental y occidental de la Luna, sólo el espacio comprendido en la base de este cono será la parte eclipsada del sol, quedando visibles las partes CD, C'D' en los bordes del sol; lo que quiere decir que la Luna se proyectará

sobre el disco solar, dejando visible todo el contorno del sol en forma de un anillo luminoso, la cual especie de eclipse se llama *anular*, y en el mismo punto *n* será tambien *central*. La fig. 143 representa el aspecto de dicho eclipse.



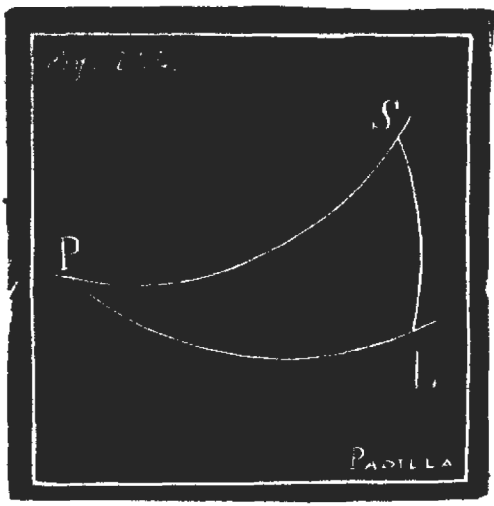
Anular central. Anular Oblícuo.

De los cálculos hechos para averiguar las condiciones de un eclipse de sol, que dependen de los movimientos de los dos astros, resulta: 1º que la distancia máxima geocéntrica de los dos centros del Sol y de la Luna en el momento de contacto es 1°,34′,27″ [1].

2º La latitud máxima de la Luna sólo puede ser 1°,34′,52″ en el momento de la conjuncion verdadera.

3º La distancia máxima de la Luna ó del Sol al nodo lunar es de 18°,36′.

4º El eclipse será cierto, si la distancia D de los centros es < 1°, 23′,15″, é imposible si es > 1°,34′,52″. Entre estos límites es dudoso, y la certidumbre depende de cálculos más exactos de los elementos.



236. El cálculo de un eclipse solar para un lugar determinado se reduce á hallar el momento en que los centros del sol y de la Luna están distantes de la cantidad D, que hemos dicho, lo que se vé en las tablas, en que se dá la ascencion recta y declinacion de los dos astros, y al mismo tiempo el modo de calcular los lados PS,PL [fig. 144] del triángulo esférico PSL y el

(1) Tratándose de señalar los límites entre los cuales es posible un eclipse

ángulo comprendido por una série de tiempos próximos al eclipse, de los cuales por interpolacion se sacará el instante preciso del contacto al principio y al fin; y este contacto sólo se verificará, cuando en el triángulo PSL el lado SL = D. Los pormenores ulteriores están fuera del alcance de un tratado elemental.

§ 3.

Anotaciones sobre los eclipses.

237. Hemos dicho que un eclipse de Luna se verifica cada vez que ésta encuentra la seccion LL′ (fig. 133) del cono sombrío que arroja la tierra; y que hay eclipse de Sol simpre que la Luna encuentra la seccion NN′ (fig. 140.) del cono circunscrito al Sol y á la Tierra, en las condiciones dichas arriba. Ahora; si se comparan estas dos secciones, no será difícil reconocer que esta segunda es mucho mayor que la primera, y considerando el fenómeno en su conjunto, se sigue de ello que los eclipses de sol son más frecuentes que los de Luna. El periodo de 18 años y 11 dias, al cabo de los cuales vuelve la Luna á tomar las mismas posiciones con respecto á sus nodos, cuyo periodo los Caldeos conocian bajo el nombre de *Sáros*, es un periodo en que vuelven tambien á verificarse los mismos eclipses, ya de Sol, ya de Luna, con el mismo órden y en épocas correspondientes. Hay, sin embargo, una pequeña diferencia sea en el tiempo sea en el lugar, pues las 223 lunaciones no forman exactamente 19 revoluciones sinódicas del nodo. Es cosa observada que en dicho periodo de 18 años y 11 dias, se verificaran 41 eclipses de Sol y 21 de Luna. En un año no puede haber más de siete eclipses, ni hay nunca ménos de dos, y verificándose esto último, los dos son de sol. Sin embargo, para un lugar determinado son más frecuentes los eclipses de Luna que los de Sol. La razon es clara, pues aquellos son visibles á un hemisferio entero, mientras que estos se verifican sólo en una pequeña parte de hemisferio, la cual tampoco es siempre la misma. La totalidad de un eclipse de sol en circunstancias muy favorables, puede durar en el ecuador hasta 7^m, 58^s, y á la latitud de París $6^m,10^s$.

---

es necesario observar que la paralaje de altura hace cambiar de posicion al borde aparente de la Luna en una cantidad que á veces puede llegar al valor de la paralaje horizontal. Lo que viene á ser lo mismo que, si el diámetro aparente de la Luna visto del centro de la Tierra, fuera aumentando en una cantidad igual al doble de la paralaje: de consiguiente, la distancia geocéntrica susodicha consta de la suma de los semidiámetros aparentes de los dos astros y de la paralaje horizontal de la Luna.

238. No es raro ver proyectada sobre el suelo la sombra de una nube aislada en un cielo despejado, la cual se mueve segun la direccion, hácia la cual es arrastrada por el viento. El mismo fenómeno se verifica en un eclipse de Sol. Si se observa desde una altura toda la extension de un llano, se vé que la sombra proyectada por la Luna sobre el mismo recorre un inmenso espacio en brevísimo tiempo con la velocidad del relámpago. Este movimiento se verifica siempre de O. á E. Aunque la rotacion de la tierra tiende á producir un efecto contrario, suponiendo al Sol y á la Luna fijos en el espacio, con todo, siendo la velocidad de la Luna mucho mayor que la de la tierra de O. á E. no tiene lugar el movimiento relativo de E. á O. De aquí se deduce que los eclipses de Sol y de Luna tienen esta diferencia característica, que estos últimos son enteramente independientes del lugar que ocupa el observador, pudiéndose observar en todo un hemisferio, en que sea visible la Luna, la misma cantidad de eclipse, el cual empieza y acaba en el mismo instante absoluto de tiempo, aunque en horas diferentes para las diferentes longitudes; mientras que un eclipse de Sol varía á cada instante con respecto al lugar que ocupa el observador; el principio, medio y fin varía en tiempo como varía la posicion de la Luna y del Sol con respecto á cada observador, á más de que no sólo la sombra, sino tambien la penumbra del disco lunar, lejos de abrazar un hemisferio entero, solo se extiende en una pequeña parte. De este modo los cálculos de un eclipse de Sol son mucho más complicados que los de Luna, pues es necesario determinar no solo las condiciones generales del eclipse, sino tambien la marcha que seguirá la sombra lunar, su extension y las fases todas del fenómeno para cada lugar determinado.

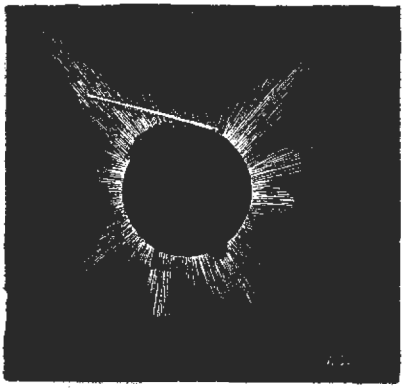
§ 4.

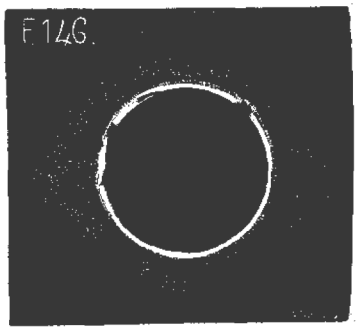
Fenómenos que se verifican en los eclipses totales de sol.

239. Los eclipses totales de sol han sido siempre, desde la antigüedad, unos acontecimientos sorprendentes, no solo para el vulgo, sino tambien para los mismos sábios que no ignoran la causa, y que antes bien pueden predecirlos y averiguar de antemano los pormenores de sus fases. El primer fenómeno que se observa en un eclipse total, es ver, en el momento en que desaparece el último rayo de Sol, á la Luna proyectada como un disco perfectamente negro en el

fondo del cielo (fig. 145), el que aparece instantáneamente rodeado de una aureola ó corona luminosa, cuya extension al rededor no es mayor que un radio lunar; la intensidad de su luz puede igualarse á la de la Luna llena; y esta es la que mitiga un tanto el horror producido por la instantánea oscuridad que se sigue á la súbita extension del grande astro del dia. Esta corona, segun las observaciones hechas en los últimos eclipses que se han verificado, consta de dos partes: una, que forma un anillo bien pronunciado, de una luz brillantísima, en contacto inmediato y en contorno del disco lunar, y se extiende á una distancia de casi 4′, la otra, que sigue al anillo y tiene más del doble de extension. Su luz vá poco á poco disminuyendo (fig. 146), y su límite con el anillo es perfectamente marcado; por lo que hay motivo para deducir que dicho anillo sea de una densidad muy superior á todo lo demás de la corona, á cuyo límite llegando los gases, (que dijimos ser las protuberancias que se elevan en ellas) y encontrando una densidad menor, ó á lo ménos igual á la suya, se inclinan cediendo á las leyes de equilibrio, paralelamente al borde del Sol, y siguiendo la direccion de alguna corriente que las lleve. Esta corona es, al parecer de los astrónomos, la que constituye la atmósfera solar.

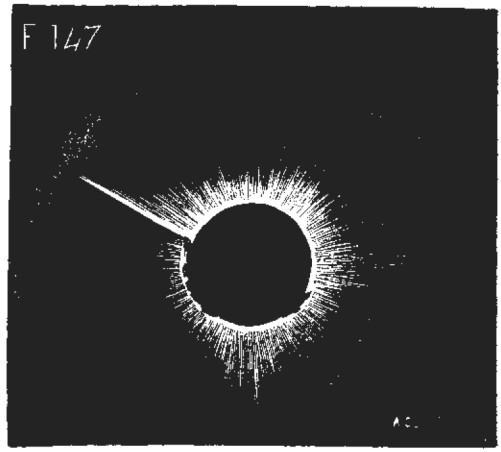
Fig. 145.





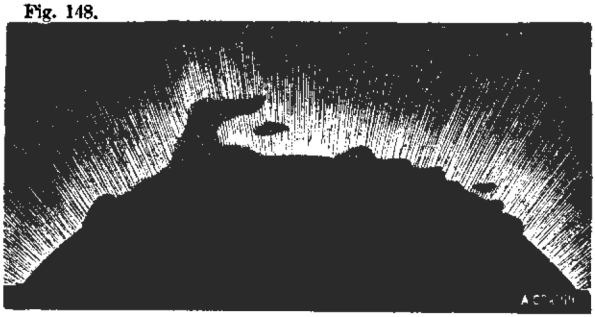
240. A más de la corona y fuera de ella suelen aparecer unos haces luminosos, cuya forma y direccion no es siempre la misma, y cuya intensidad en la luz varía tambien. Estos haces, segun las observaciones hechas, no parecen ser reales, ó pertenecientes al Sol, sino puramente efectos de la atmósfera terrestre iluminada por las protuberancias y por la corona luminosa entre las aberturas que dejan entre sí las montañas de la Luna: del mismo modo que se observan esos magníficos haces luminosos á la puesta del sol por entre las aberturas de las montañas terrestres, ó por las nubes en-

trecortadas. Sin embargo hay probabilidad de que no todos estos haces luminosos deban atribuirse á un efecto puramente atmosférico, habiéndose dichos haces podido observar no pocas veces aun fuera de los eclipses, y hallándose el Sol en el horizonte; pero esta observacion merece todavía otras pruebas. Unos de estos rayos luminosos, que hay motivo para creerlo perteneciente al sol, se observó en el eclipse total del 25 de Abril de 1865 en Concepcion de Chile. Fué tal su luz, que á él se debe la formacion del halo, que se manifestó extraordinariamente durante solo el tiempo de la totalidad del eclipse, es decir, $2^m,22$. La fig. 147 representa el aspecto del fenómeno, aunque se halla reducida la distancia del halo al Sol por la estrechez del espacio. En este rayo se observa una forma particular semejante á un triángulo rectángulo, y corresponde á una de las más grandes protuberancias que se dejaron ver á inmediaciones del Ecuador solar.



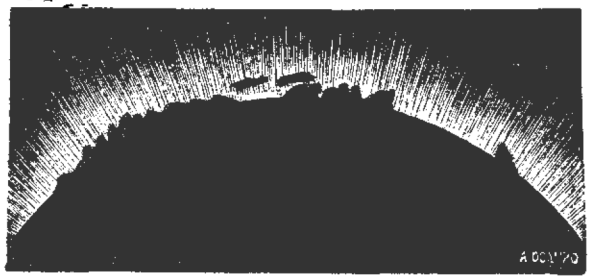
241. Lo que llama principalmente la atencion del astrónomo en los eclipses, son ciertas protuberancias rosadas, que aparecen al rededor del disco. Estas son como una especie de nubes que flotan en la parte más densa de la atmósfera solar, y forman una capa inmediata al rededor de la fotosfera. La forma es muy variada: algunas son redondas; otras en forma de cono; las hay tambien en forma de columna, que en la parte superior se doblan á semejanza de una columna de humo que sigue la corriente de aire que la impulsa [fig. 148]. Otras

Fig. 148.



se presentan como una série de montañas puntiagudas, entre las cuales se hallan tambien algunas como suspendidas y aisladas en forma de pequeños *cúmulus* (fig. 149). Estas protuberancias ó llamas pertenecen únicamente al Sol y no son materia sólida, sino gaseosa, exhaladas probablemente de la misma fotosfera del Sol y quizá del núcleo interno (1).

Fig. 149.



Esto se observa sobre todo en las que son muy elevadas y toman la forma arqueada, pues mientras están sumergidas en la parte de atmósfera que tenga en comparacion mayor densidad, se elevan, pero encontrando capas de igual densidad ó menor, se extienden horizontalmente, formando un ángulo recto en el punto en que se doblan. Por otra parte, la fuerza que las eleva á una altura tan grande, que llega tal vez á ser no ménos que 10 veces el diámetro terrestre, debe ser superior á la que puede imaginarse. Esta especie de protuberancias que por lo comun aparecen cerca del ecuador solar, desde el punto en donde se doblan, suelen dirigirse hácia los polos: circunstancia que podria dar motivo á sospechar la existencia de corrientes que se dirijan del ecuador á los polos, como sucede en nuestro planeta por efecto de la dilatacion del aire producida por una mayor temperatura.

242. Hay otros efectos producidos por un eclipse de Sol, que dependen del estado atmosférico. Así, no es raro que se condense el vapor que en exceso existe en el aire, y se levante la niebla por la disminucion de la temperatura, la cual, á pesar de que el termómetro no baja mucho, se hace muy sensible á las personas, especialmente si se verifica el fenómeno al principio del dia; no obstante, no parece que esto influya sobre el barómetro, el cual sigue su marcha ordinaria. La aguja magnética tampoco muestra variaciones extrañas por la existencia del fenómeno, á ménos que no haya otras causas que las motiven. Lo que se ha notado más frecuentemente es la cesacion del viento en tiempo de la totalidad del eclipse, como si la inanimada naturaleza quedara suspensa á la presencia del gran

(1) Los recientes estudios sobre dichas protuberancias observadas con el espectroscopio, dan por resultado que son de hidrógeno puro.

fenómeno. La oscuridad producida puede compararse con la que se verifica una hora despues de la puesta del sol en dia despejado, por lo que es difícil aun observar la hora del reloj sin luz artificial. Con todo, esto no se verifica siempre del mismo modo, sino que depende del estado atmosférico. En esta oscuridad no es difícil ver las estrellas de primera y segunda magnitud, así cómo los planetas mayores: mientras tanto, el cielo, aunque despejado, toma un color verde-oscuro que se refleja sobre los objetos terrestres, y los hace aparecer de un tinte pálido-verdoso, que sorprende el ánimo y los sentidos del observador. No es fácil dar una idea de la impresion moral que produce tan imponente fenómeno en los espectadores aun más prevenidos. Los animales á su vez se resienten de la falta momentánea del astro luminoso, y la sensacion producida en ellos depende generalmente de la mayor ó menor oscuridad.

243. No podemos entrar en detalles más circunstanciados, porque estos pertenecen más bien á un astrónomo que á un cosmógrafo. Bástenos haber indicado los principales fenómenos, los cuales, si dan una idea de lo que es eclipse total, no llega ésta, sin embargo, á producir el efecto que experimenta un testigo de vista.

LIBRO V.

De los planetas.

CAPITULO I.

§ 1.

Nociones generales.

244. Planeta significa *astro errante*. Los astrónomos antiguos dieron este nombre á ciertos cuerpos celestes, que lejos de pertenecer á una constelacion determinada, pasaban de una constelacion á otra con movimientos algo complejos, pero sin traspasar ciertos límites de la esfera celeste. Segun esto, el sol, los satélites de los demás planetas y los cometas serian otros tantos planetas. Mas desde el descubrimiento del sistema solar, admitido como el único verdadero por los astrónomos modernos, se entienden por planetas unos astros ó cuerpos opacos, que giran al rededor del sol, describiendo órbitas elípticas. Se dividen estos cuerpos en planetas primarios, secundarios ó satélites y asteróides. Planetas primarios son aquellos que en su movimiento describen una órbita elíptica, cuyo foco ocupa el sol, *satélites* son ciertos cuerpos que giran al rededor de un planeta primario, y *asteróides* un grupo de planetas pequeños, que describen sus órbitas al rededor del sol, muy entrelazadas por la vecindad en que se hallan, y con una inclinacion bastante sensible sobre la eclíptica.

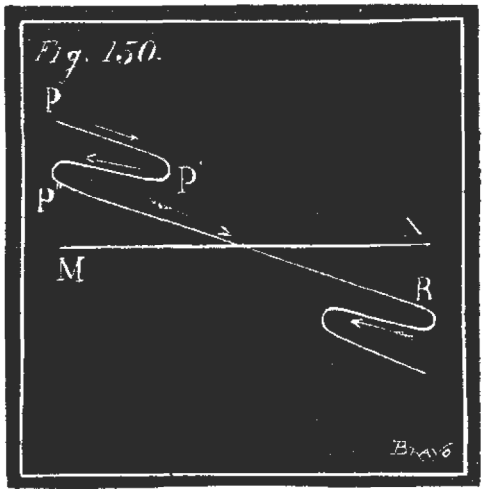
245. Los planetas mayores se dividen en inferiores y superiores; aquellos son los que no pasan de cierto límite fijo en su distancia angular del sol, y son Mercurio y Venus; estos son los que en sus distancias angulares del sol no tienen límite fijo y son: Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Los primeros se llaman tambien *interiores*, porque su órbita está comprendida en la órbita terrestre; los segundos se llaman *exteriores*, porque describen su órbita fuera de la órbita terrestre. Todos estos planetas se hallan siempre cerca de la eclíptica, cuya distancia por uno y otro lado no es mayor de 8°. Esta faja es la que, como dijimos, constituye el zodiaco; mas los aste-

róides, por tener muchos de ellos su órbita muy inclinada sobre la eclíptica, salen de la faja del zodiaco, y por lo tanto se llaman tambien planetas *ultrazodiacales*.

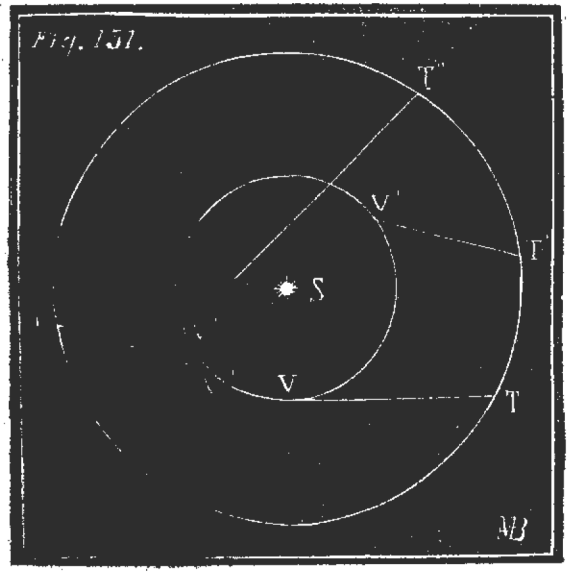
§ 2.

Movimiento de los planetas.

246. El movimiento de los planetas es mucho más irregular que el movimiento aparente del Sol y de la Luna. En general, se verifica de O. á E. Con todo si se observan despues de largos intervalos de tiempo los lugares que ocupan en el cielo, se verá que, aunque conservan una velocidad media, pero diferente, en el mismo sentido que el Sol y la Luna, es decir, de Oeste á Este, á veces se detienen por largo tiempo, retrocediendo despues con movimiento que se llama retrógrado de Este á Oeste, ya aumentando ya disminuyendo su velocidad aparente, para quedar de nuevo estacionarios, y volver á empezar su movimiento de O. á E. Estos movimientos se llaman *estacion* y *retrogradacion* del planeta. Para dar de esto una idea sea MN [fig. 150] la eclíptica; si el planeta se halla en P, en su movimiento directo de O. á E. marchará hácia P′; pero su velocidad aparente irá disminuyendo insensiblemente hasta que en P′ parecerá *estacionario;* de P′ pasará á P″ con movimiento retrógrado, al principio con una velocidad mayor de la que llevaba acercándose á P′: en P″ se verificará una segunda estacion y en seguida emprenderá de nuevo su marcha con movimiento directo, hasta llegar al punto R, en donde empezarán á verificarse los mismos fenómenos que antes. Este es en general el carácter que presentan los planetas en su movimiento aparente. Para explicar estos movimientos, los antiguos habian imaginado varios sistemas, fundados sin embargo en falsos principios,

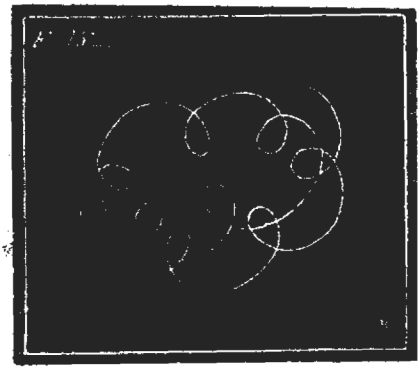


que siendo más ó ménos complicados, no era posible dieran una explicacion exacta y precisa de los fenómenos. Pero desde que se ha establecido el sistema de Copérnico, no hay cosa más fácil de explicar, siendo las estaciones y retrogradaciones de los planetas simples consecuencias de un movimiento relativo. En efecto; supongamos que se trate de un planeta inferior, Venus por ejemplo, cuya órbita se halla contenida en la órbita terrestre. Sea T (fig. 151), la posicion de la Tierra en su órbita, y V, la de Vénus en su elongacion máxima (1): la línea T V será una tangente de la órbita de Venus en el punto V. A medida que la Tierra de T pasa á T', Vénus irá de V á V'; desde este punto en que Vénus se halla en conjuncion inferior, la Tierra y el planeta se moverán en el mismo sentido; pero como el planeta lleva una velocidad mayor que la de la Tierra, dejará á ésta atras, y el movimiento aparente, como se vé desde la Tierra, será el mismo que si, quedando inmóvil el planeta, la Tierra se moviera en sentido contrario y con una velocidad igual á la diferencia de sus movimientos relativos. Por tanto, el movimiento del planeta parecerá contrario al movimiento aparente del Sol, es decir, parecerá retrógrado. Cuando la Tierra esté en T'', y Vénus en V'', es decir, hallándose el planeta en la conjuncion superior, los movimientos se verificarán en sentido opuesto, y por tanto, el movimiento relativo es lo mismo



(1) Llámase *elongacion* la distancia máxima angular de un planeta al Sol.

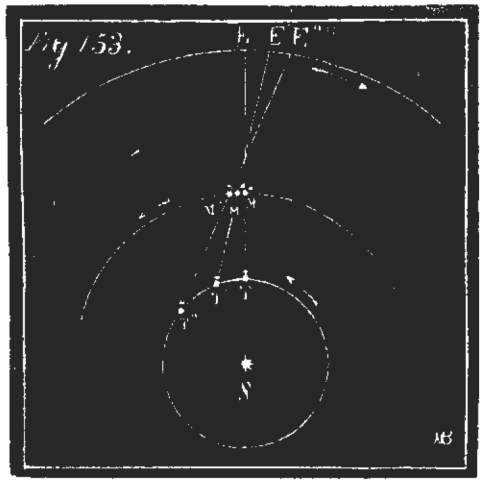
que si quedara inmóvil el planeta, y la Tierra se moviera en su propia direccion, pero con una velocidad igual á la suma de los dos movimientos; tenemos aquí el movimiento aparente directo del planeta. En los dos puntos de elongacion máxima V y V″, Vénus se mueve segun la direccion de la tangente, mientras que la Tierra lleva una direccion perpendicular á ella; en este caso, el movimiento de Vénus será tambien directo, pero siendo directo el movimiento en V y V″, y retrógrado en V′, debe haber entre V y V′ lo mismo que entre V′ y V″, un punto en que el planeta pase del movimiento retrógrado al directo, y viceversa, es decir, que neutralizándose estos dos movimientos contrarios, parecerá el planeta estacionario. De este modo los planetas inferiores parecerán oscilar al rededor del Sol, acompañándole en su movimiento anual, y su movimiento aparente no es más que un movimiento epicicloidal, que nace de la combinacion del movimiento del planeta al rededor del Sol, y del de la Tierra al rededor del mismo. La fig. 152 representa la curva aparente que describen los planetas en la esfera celeste. La elongacion máxima de Mercurio llega sólo á 28°, la de Vénus no pasa de 46°.

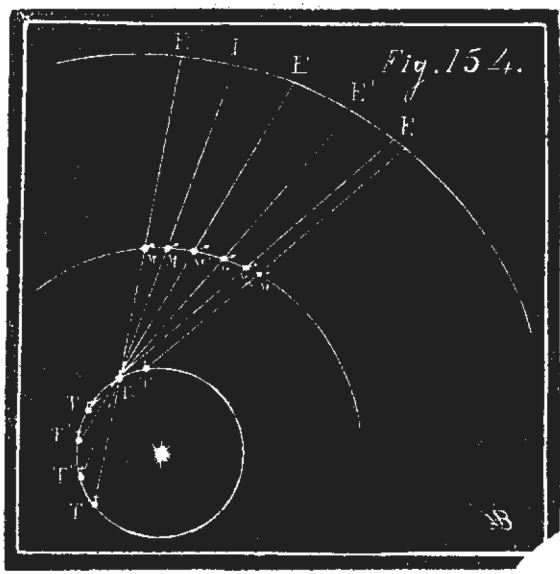


247. Cuando el planeta en su movimiento directo se adelanta al Sol, hácia el E., se le puede ver por la noche despues del ocaso del Sol en Occidente; cuando al contrario, en su movimiento retrógrado pasa al O. del Sol, se le vé por la mañana al Oriente antes de la salida del Sol. En cada periodo pasa el planeta dos veces en conjuncion, á saber, cuando llega al máximum de su velocidad, ya sea directa, ya sea retrógrada.

248. Tratándose de los planetas superiores, es decir, de los que ejecutan su revolucion fuera de la órbita terrestre, se explican fácilmente los movimientos aparentes. Es preciso advertir que los planetas superiores pueden estar en conjuncion y en oposicion, mientras que los inferiores, como hemos visto, nunca están en oposicion, sino que se hallan dos veces en la conjuncion, de las cuales una es superior, la otra inferior. Estará el planeta en oposicion, cuando la Tierra se halla entre el planeta y el Sol, á saber, cuando el planeta pasa por el meridiano á media noche. Estará en conjuncion cuando el Sol se halla entre la Tierra y el planeta. Puesto esto, sea S el

Sol [fig. 153], T la Tierra en un punto de su órbita, M Marte, y supongámoslo en oposicion. En este caso, marchando la Tierra de T á T′, y el planeta de M á M′, como las velocidades no son iguales, aunque su movimiento se verifique en la misma direccion, la visual del observador al planeta, prolongada hasta la esfera celeste, irá á dar á dos estrellas, por ejemplo E y E′: de consiguiente, parecerá que el planeta ha marchado de E á E′, con movimiento contrario al que realmente ha tenido lugar. Lo mismo se dirá con respecto á las posiciones siguientes de la Tierra T″, y de Marte M″, con relacion á la estrella E″; tendremos, pues, una retrogradacion aparente del planeta. Supongamos ahora que la Tierra tome las posiciones T^1 T_2, y Marte M_1 M_2 [fig. 154]; en este caso, las dos visuales serán paralelas, y se dirigirán á una misma estrella en varios dias consecutivos; parecerá, pues; estacionario el planeta, aunque se haya movido en el mismo sentido que la



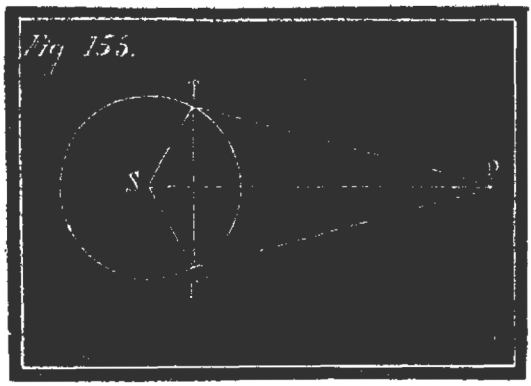


Tierra. Cuando la Tierra pasa á T, T', T'', marchando el planeta de M á M', á M'', las visuales en los dias sucesivos serán referidas á las estrellas E', E'', E''', y como este movimiento es en el mismo sentido que el de la Tierra el movimiento de Marte será directo. De este modo las estaciones y retrogradaciones de los planetas, son una prueba de que la Tierra, tambien es un planeta que obedece, como los demás, á las mismas leyes, á que ellos están sujetos en su movimiento al rededor del Sol. Ahora, comparando entre sí dos oposiciones del planeta en diferentes tiempos que, se verifican en el mismo lugar del cielo, y dividiendo el número de los dias, trascurridos entre las dos oposiciones, por el número de las revoluciones del planeta, se obtendrá su movimiento medio y el tiempo de una revolucion entera. Por esto, fácilmente podrá conocerse, si el planeta visto desde el Sol tiene, ó no, un movimiento uniforme, pues bastaria observar, si los arcos recorridos entre dos oposiciones son proporcionales á los tiempos. De este modo se ha hallado que el movimiento de los planetas, aun vistos desde el Sol, no es uniforme, sino que es ya más lento ya más ligero, pero de modo que el punto de la velocidad máxima eliocéntrica corresponda al punto diametralmente opuesto al de la velocidad máxima. Los antiguos explicaron estas diferencias por medio de los excéntricos; pero despues de los prolijos estudios de Kepler, ya no puede admitirse otra cosa, sino que las órbitas de los planetas son elípticas.

§ 3.

Distancia de los planetas al Sol.

249. Es facil el medio de hallar la distancia de un planeta cualquiera al Sol. Sea S el Sol (fig. 155), T la Tierra; mientras el planeta se halla en P, si se observa de nuevo el planeta despues de una nueva revolucion al rededor del Sol, la Tierra en este caso se hallará en T'. Trazando la cuerda TT', y uniendo S con P (se supone que el planeta está en la eclíptica, ó al ménos por medio de cálculo reducido al plano de



la eclíptica) en el triángulo STT', se conocen los lados ST, ST' y además el ángulo TST'; de donde podrá sacarse el valor del lado TT', y de los ángulos STT', ST'T. Si se restan estos dos ángulos de las elongaciones del planeta observado y del Sol ST'T; podrán conocerse los ángulos adyacentes á la base TT'P, T'TP; por la trigonometría podrán conocerse tambien los lados T'P y TP del triángulo T'TP. Ahora, en el triángulo STP se conocen los ángulos TSP y PTS; luego se sacará el valor del ángulo SPT, es decir, la paralaje eliocéntrica del planeta; averiguada dicha paralaje, no es difícil hallar el valor del lado SP, es decir, la distancia del planeta al Sol.

250. Despues que hizo Kepler sus estudios sobre los movimientos de los planetas, notó que la progresion de las distancias sucesivas de los planetas al Sol seguia cierta ley, pero habia un gran vacío entre Marte y Júpiter. En efecto, si se escriben uno despues de otro en progresion los números 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192 en que cada número es doble del precedente, y á cada término se añaden 4 unidades se tendrá la série de los números:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196.

Ahora; si se exceptúa el 28, se observa que estos números son sensiblemente proporcionales á las distancias de los planetas al Sol. Siendo expresada por 4 la distancia de Mercurio al Sol, la de Vénus será representada por 7, la de la Tierra por 10 etc. El vacío del núm. 28 ha sido llenado á principio de este siglo por el descubrimiento de un gran número de planetas pequeños que representan en cierto modo el valor del planeta, supuesto por Kepler. Esta ley empírica lleva el nombre de ley de Bode, [1] no porque él la haya formulado, sino porque este astrónomo llamó sobre ella más particularmente la atencion. A más de que impropiamente se le ha dado el nombre de ley, pues si se verifica solo aproximadamente con respecto á Saturno y Urano, se halla muy deficiente con respecto á Neptuno. En efecto, la distancia media de Neptuno al Sol estará representada por $192 \times 2 + 4$; ahora, esto dá por resultado 388, número muy diferente de 300, que expresa la distancia verdadera de dicho planeta al Sol. Por la tabla siguiente se puede ver la relacion de distancias de los planetas.

(1) Propiamente esta ley fué hallada por Titius de Wurtemberg, en la que es de notar que el número 196. representa poco más ó ménos la distancia de Urano, planeta que era del todo desconocido por él.

Mercurio	0,387098
Venus	0,723331
La Tierra	1,000000
Marte	1,523691
Júpiter	5,202798
Saturno	9,538851
Urano	19,182730
Neptuno	30,036280

251. El vacío entre Marte y Júpiter designado bajo el número 28 en la ley de Titius, parecia indicar la existencia de uno ó más cuerpos que giraran al rededor del Sol á esa distancia, y en realidad, lo que en aquel tiempo se creyó deber existir, ha venido á confirmarlo el nuevo descubrimiento; más de estos pequeños planetas hablaremos en su lugar.

252. Los astrónomos suelen representar los planetas con los signos siguientes: Mercurio ☿, Venus ♀, La Tierra ♁, Marte ♂, Júpiter ♃, Saturno ♄, Urano ♅, Neptuno ♆; los pequeños planetas ó asteróides suelen representarse por un circulo con el número de órden, segun su descubrimiento, de este modo (1), (2), (3), etc. El Sol está representado por ☉ y la Luna por ●. Entre los planetas conocidos por los antiguos, Saturno era el que se hallaba más distante del sol. Williams Herschel descubrió en 1781, más allá de Saturno, el planeta Urano. Pero sólo en el año 1849, en que se notaron algunas perturbaciones en este último planeta, fué cuando supuso Leverrier que habia más allá de Urano algun cuerpo perturbador, ó un nuevo planeta. Introducida en el cálculo la supuesta condicion, halló que la observacion confirmaba la teoría. Pero no quedó aquí, sino que volviendo á los cálculos, pudo hallar la posicion del nuevo planeta, y en efecto, fué observado por Mr. Galle en Berlin á fines de 1846, quien habiendo dirigido el telescopio al lugar designado por Leverrier, halló el planeta con sólo la diferencia de 1°,30′. A este planeta se le llamó *Neptuno*, aunque muchos, en honor del atrevido descubridor, le llaman Leverrier. No puede negarse haber sido este descubrimiento una prueba incontestable de la realidad de las leyes de la atraccion universal. Segun esto, no sería difícil que se extendiera áun más allá el séquito de nuestro sol con otros planetas desconocidos.

253. El cuadro siguiente dará á conocer la distancia de los planetas al Sol en radios terrestres, kilómetros y leguas.

Nombre de los planetas.	Distancia en radios terrestres	Distancia en kilómetros.	Distancia en leguas.
Mercurio	9.234	59.108.860	13.297.831
Vénus	17.348	110.450.292	24.848.203
La Tierra	23.371	148.797.968	33.482.891
Marte	36.544	232.667.329	52.343.381
Júpiter	124.783	794.461.541	178.731.055
Saturno	128.788	1.456.571.188	327.687.556
Urano	460.070	2.929.148.372	658.976.011
Neptuno	720.479	4.587.106.071	1.031.969.869

CAPITULO II.

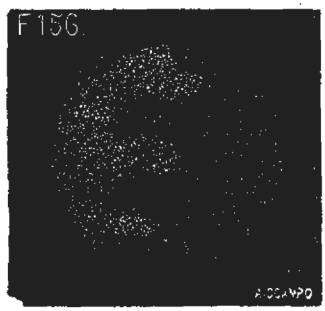
Caracteres particulares de los planetas.

§ 1.

Planetas inferiores.

1º Mercurio.

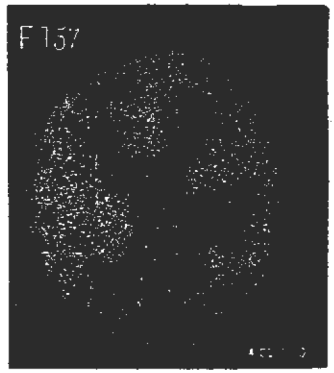
253. Este planeta [fig. 156] está casi siempre sumergido en los rayos solares, pues no se aleja del Sol más de 28°; por lo tanto, poco sabemos de su constitucion física; raras veces se le puede observar á la simple vista, y aun para eso, es necesario que el planeta se halle cerca de su elongacion máxima, ya oriental ya occidental. Si se le observa con poderosos telescopios, presenta fases análogas á las de la Luna, aunque mucho ménos aparentes, lo que prueba su revolucion al rededor del Sol. Schroeter admite que exista en este planeta una atmósfera mucho más densa que la de la Tierra; la disminucion de su brillo, procedente de una formacion rápida de bandas oscuras, parece que comprueba la existencia de

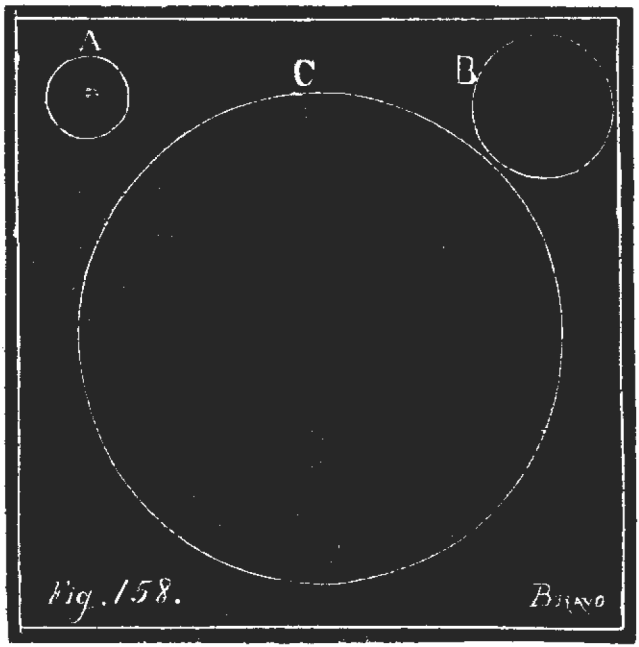


dicha atmósfera y de vapor de agua, del que dependen las variaciones muy considerables que se notan en su superficie, debidas sin duda á la presencia de las nubes. Admite tambien Schroeter que hay en Mercurio montañas muy elevadas, algunas de las cuales llegan segun él á 20 kilómetros de altura. Con todo, la dificultad de poder observar el planeta deja en duda su configuracion. Por la observacion de las fases se ha reconocido que este planeta cumple su revolucion al rededor del Sol en 88 dias, ó más exactamente, en $87^{da},97$; por tanto, las estaciones se renuevan en él frecuentemente. Su rotacion al rededor del eje se verifica casi en el mismo tiempo que la de la Tierra, pues emplea $24^{h},5^{m},28^{s}$. Su diámetro aparente es muy pequeño y varía de $4'',5$ á $12''$, siendo por término medio: $=8'',25$. El diámetro real es casi 0.433 del de la Tierra, ó sea, 1243 leguas. La intensidad de la radiacion solar es 6.69 veces más fuerte que sobre la Tierra en igualdad de superficie. La masa es 0.05, y su volúmen 0.06, tomando por unidad el de la Tierra. Su distancia al Sol, siendo 1 el radio vector de la Tierra, es 0.387, á saber, 14.706.000 leguas, siendo las leguas de 4 kilómetros; varía esta distancia entre 0.307 y 0.467, ó lo que es lo mismo, de 11.666.000 á 17.746.000 leguas. De aquí resulta que la distancia máxima de Mercurio á la Tierra es de 51.000.000 de leguas, y la mínima de 18.700.000. A Mercurio, por su órbita tan cercana al sol, se le vé algunas veces pasar sobre su disco, marchando de E. á O. en el momento de la conjuncion inferior, y se presenta entonces, como una pequeña mancha negra. Si el plano de la órbita coincidiese con la eclíptica, se verificaria dicho fenómeno en cada conjuncion inferior, pero como el plano de su órbita forma con la eclíptica un ángulo de 7°, raras veces tiene lugar, y esto, sólo cuando la línea del nodo de la órbita está cerca de la Tierra; verificándose dicha condicion en los meses de Mayo y Noviembre, sólo en estos dos meses puede tener lugar un paso de Mercurio sobre el disco del Sol. El primer paso de este planeta fué observado por Gassendi en 7 de Noviembre de 1631. Ha habido otros pasos posteriormente, y en particular en 1861 (11 de Noviembre), en 1868 (5 de Noviembre): para observar los cuales, hubo en todas partes un extraordinario movimiento de astrónomos; los últimos tuvieron lugar, uno el 6 de Mayo de 1878, visible en el hemisferio del Norte, especialmente en Europa, y el otro el 7 de Noviembre de 1881 en el hemisferio S. Los que tendrán lugar hasta el fin del presente siglo son: 1º el 10 de Mayo de 1891 al amanecer, y el 10 de Noviembre de 1894 de 4 á 6 de la tarde.

2º Vénus.

254. El planeta más brillante y que excede en resplandor á todas las estrellas, es Vénus; su luz en un sitio oscuro llega á hacer proyectar sombra á los cuerpos interpuestos, especialmente cuando está en su conjuncion inferior. A este planeta los antiguos llamaron *Lucifer*, Lucero de la mañana, y *Vesper*, Lucero de la tarde. No es raro ver á Vénus brillar en el cielo en pleno dia. Galileo fué el primero que observó las fases de Vénus en 1610; las cuales, á más de ser bien decididas, son muy parecidas á las de la Luna (fig. 157), cuya semejanza representa, cuando se le observa con un poderoso telescopio. De la gradacion en la disminucion de la luz





que representa la fase en su borde inferior, se ha deducido la exis-

tencia de una atmósfera algo más densa que la de la tierra, en la cual, por medio del espectroscopio, se ha probado que existe vapor de agua, que forma las nubes: y en efecto, además de verse algunas manchas fijas, se observan otras muy variables. Schroeter y otros parecen haber demostrado tambien la existencia de montañas, cuya elevacion llegaría á 44 kilómetros. El diámetro aparente de Vénus es por término medio, 16″,9, y varía de 9″,6 á 61″,2. Esta diferencia tan grande se explica fácilmente, pues ningun otro planeta se acerca tanto á la Tierra, ni tiene una variacion tan excesiva en las distancias, como Vénus. Se aleja de nosotros hasta 65.000.000 de leguas, y su proximidad máxima de 9.750.000. La fig. 158 representa la magnitud de los diámetros aparentes del planeta en sus diferentes distancias. A representa Vénus en su conjuncion superior, C en la inferior, B en su distancia media. Ahora bien: admitiendo un término medio en su diámetro aparente = 16″,9, el diámetro real de Vénus con respecto al de la Tierra será = 0.984, ó sea 2.820 leguas, y de consiguiente su volúmen = 0.957 del de nuestro globo. Su densidad es 5.10, y su masa 0.87. La intensidad de la radiacion solar es doble de la que se experimenta en la Tierra. Pero estando el eje de rotacion inclinado sobre el plano de su órbita 53°,12, las estaciones deben verificarse con extremos mucho más pronunciados que en la Tierra. El año en Vénus consta de $224^{ds},7$ y su rotacion diurna de $23^{h},21^{m},21^{s},9$. Una circunstancia notable de Vénus merece ser indicada, y es que el movimiento de la línea de los ápsides es retrógrado, mientras que en todos los demás planetas es directo, es decir, que tiene lugar en el mismo sentido que la marcha de estos astros en sus órbitas.

255. Los fenómenos más importantes de Vénus para los astrónomos son los pasos del planeta delante del Sol, sobre el cual se proyecta como una mancha negra, de la misma manera que Mercurio, con la diferencia de que son mucho ménos frecuentes, por la mayor distancia á que está el planeta del Sol y por la diferente amplitud de su órbita. El tiempo que emplea Vénus, visto desde la Tierra, para volver á la misma posicion con relacion al Sol, es decir, para que vuelva á la misma conjuncion inferior, es de 584 dias. Durante este tiempo, la Tierra ha recorrido su órbita entera y se ha adelantado en ella 216° más. Ahora, calculando el tiempo necesario para que se verifiquen más ó ménos las conjunciones en el mismo dia y en el mismo lugar del cielo, se obtiene 2,820 dias, es decir, 8 años. Luego deberian tener lugar los pasos de Vénus cada 8 años. Mas no es así, pues el plano de la órbita de Vénus no coincide con el plano de la eclíptica, sino que forma un ángulo de 3°, 24′, por lo tanto, no podrá tener lugar el fenómeno, mientras la latitud de Vénus, en las conjunciones inferiores no sea más pequeña que el

semi-diámetro del Sol. Ahora, como las latitudes de Vénus no son rigurosamente idénticas al cabo de 8 años, sino que presentan una diferencia de 20′ á 24′, la suma de estas diferencias vendrá á ser de 40′ á 48′ en otros 8 años, lo que es mayor que el semi-diámetro del sol; luego en el espacio de 16 años no podrá tener lugar el fenómeno más de dos veces. Estas latitudes, en las cuales se verifica el paso de Vénus, por el movimiento de la línea de los nodos, no pueden llegar á tener las mismas circunstancias, sino al cabo de un siglo ó un poco más, para volver otra vez al corto intervalo de 8 años, y así sucesivamente; de consiguiente, si tiene lugar el fenómeno, volverá á verificarse al cabo de 8 años, pero será necesario más de un siglo para que vuelva á empezar el período. Ya dijimos qué importancia dan los astrónomos á las observaciones de estos pasos, pues sirven para determinar la paralaje del Sol. Las primeras observaciones de un paso de Vénus fueron hechas en 1639 el 4 de Diciembre, por Horrockes y Crabtree, y fué tal el entusiasmo de Horrockes, que, avivado su génio poético, quiso celebrarlo con un ditirambo. Otros pasos tuvieron lugar el 5 de Junio de 1761 y el 3 de Junio de 1769; en éste por primera vez se determinó con alguna aproximacion la paralaje del sol = 8′, 57″, pero no ha podido ménos de ser rectificada y hallada = 8″,83″ en los dos últimos pasos que han tenido lugar, el primero el 8 de Diciembre de 1874 y el segundo el 6 de Diciembre de 1882, despues de los cuales habrá que esperar hasta el 7 de Junio de 2004 para que vuelva á verificarse el fenómeno que durará $5^h,30^m$, empezando tres horas antes del mediodía.

256. Ha habido cuestion sobre si Vénus tiene ó nó satélites: astrónomos de renombre, como Cassini en 1686, Short Montaigne en 1761, y otros aseguran haber observado, en diferentes tiempos y diversas posiciones, un punto débilmente luminoso, que presentaba las mismas fases del planeta. El célebre geómetra Lambert se propuso discutir todas las observaciones que sobre esto trasmitieron dichos astrónomos, y lejos de admitir la existencia del satélite, explicó el fenómeno por efecto de una doble reflexion de la luz, verificada primero en la córnea del ojo, y despues en el ocular del telescopio; y para confirmar dicha explicacion, dió cuenta de los movimientos que el cambio de posicion del ojo, debia producir y produjo en realidad en una falsa imágen observada por él. Con todo, emprendió el penoso trabajo de determinar la órbita, su inclinacion sobre la eclíptica, la rotacion y la revolucion del supuesto planeta, y el resultado de sus cálculos fué que su diámetro debia ser 0,01 más grande que el de la Luna, y que su distancia á Vénus seria mayor que la distancia de la Luna á la Tierra, y finalmente, que Vénus deberia tener una masa siete veces más grande que la Tierra, y una densidad ocho

veces mayor. Estos cálculos, sin embargo, estaban fundados sobre datos supuestos y no exactos, pues una pequeña variacion en ellos reducirian inmediatamente estos números.

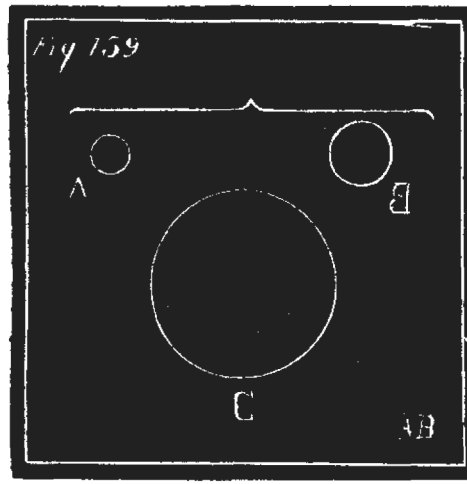
Sea lo que fuere, la ciencia no admite actualmente el supuesto satélite, pues si lo hay, no pasa de un cuerpo parecido á nuestras nubes, porque su débil luz prueba que no es apto para reflejar los rayos solares.

§ 2.

Planetas Superiores.

1? Marte.

257. Este planeta presenta ordinariamente una luz de un color rojo: su diámetro aparente, en la conjuncion más cercana á la Tierra, subtiende un arco de 3″,3; en la oposicion llega á 23″,5; en la distancia media de la Tierra al Sol es de 8″,9, á saber, casi 1600 leguas de 4000 metros. La fig. 159 representa la diferencia del diámetro aparente en sus límites extremos y en la distancia media. A representa el diámetro en la distancia máxima de la Tierra, C en en la mínima, B en la media. Su volúmen es 0.14 del de la Tierra.



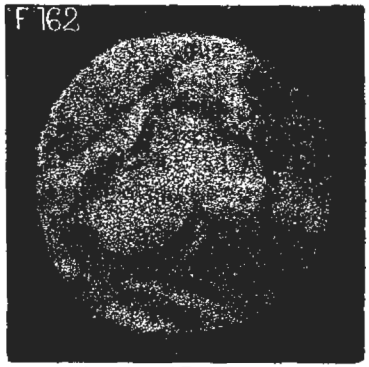
El tiempo, que emplea Marte para volver al mismo punto de la esfera celeste, ó sea, su revolucion al rededor del Sol, es de 1 año, 10 meses, 21 dias 98, ó sea de 686 dias, 98. Su revolucion sinódica, ó sea, el tiempo, que emplea para volver á la misma posicion aparente con relacion al Sol y que abraza los movimientos directos y retrógrados, es de 779 dias, ó sea, 2 años, 1 mes 19 dias; la rotacion al rededor de su eje se efectúa en 24^h, 37^m, 35^s. La distancia me-

dia de Marte al sol (siendo 1 la de la tierra) es = 1. 524 la mínima = 1.382, ó sea, 204.000,000 kilómetros, y la máxima = 1.666, ó sea 246.000,000 kilómetros. La inclinacion del eje de rotacion sobre su órbita, es de 30°, 18′, y siendo la exentricidad de la órbita mucho más grande que la de la Tierra; pues es = 0,093, las estaciones deben verificarse con diferencias muy pronunciadas. La intensidad de calor y luz que recibe del Sol es 0. 43 de la de la Tierra. Marte presenta fases del mismo modo que Vénus: Galileo que lo habia observado, en 1610 escribia: "Yo no me atrevo á asegurar que se pue-"dan observar las fases de Marte; con todo, si no me engaño, creo "ver ya que no es perfectamente redondo.

258. El 24 de Agosto de 1638, el astrónomo Fontana, en Nápoles, vió á Marte con una pequeña parte en la sombra. Puede decirse que fué esta la fecha del descubrimiento de las fases. Al presente no es difícil reconocer su existencia. Este planeta representa sobre su superficie algunas manchas permanentes, otras variables; de las permanentes algunas son azules, otras blancas y otras rojas. Herschel y otros, aseguran la existencia de una atmósfera cuya luz es en el borde mucho más débil que en el centro, y la gradacion de la uz en el borde interior de la faz, es sensible. Como Marte es un planeta que se acerca mucho á la Tierra ha podido ser observado más fácilmente. De todos los estudios hechos sobre este planeta, resulta tener mucha semejanza con la Tierra; en efecto, las manchas permanentes, azules y rojas, indican la existencia de continentes y de mares. La fig. 160 representa el aspecto del planeta, observado el 29 de Junio de 1858 en el Observatorio del Colegio Romano; la mancha en forma de *Escorpion* era de un color azul, y todo lo demás rojo, menos algunas pequeñas partes hácia el Norte y el Sur, que estaban teñidas de un color amarillo claro. Los dos casquetes, que se observan en los dos polos, eran de un blanco perfecto. Por los cambios observados en estas manchas polares, no solo en tiempos muy distantes, sino de una estacion á otra en el planeta, los astrónomos están acordes en la idea de que no son más que aglomeracion de hielos y nieves, las cuales se derriten, cuando los rayos del Sol caen más directamente sobre ellas. Por los estudios que se han hecho sobre la configuracion del planeta en todos los dias sucesivos de una rotacion entera, se ha podido formar un

mapa de Marte, que ha dado á conocer la forma general de las manchas polares. Las figuras 161 y 162 representan los polos del planeta y su configuracion.

Aspecto del Polo N. aparente



Aspecto del Polo S. aparente

Hasta el año de 1877 reinó entre los astrónomos la opinion, de que Marte estuviera desprovisto de satélites, aunque no habia fallado quien tuviera la opinion contraria. El astrónomo Asraph Hall del Observatorio de Washington quiso resolver detenidamente el problema en la favorable circunstancia de la oposicion del planeta en dicho año. Empezó, pues, sus trabajos en la primavera, pero no fué sino en la noche del 11 de Agosto, cuando disponiendo el anteojo de manera que el planeta quedara fuera del campo visual, distinguió en medio de su resplandor un objeto muy débilmente luminoso hácia el Norte del planeta. Quedó su observacion dudosa, pues al poco tiempo cubrióse el cielo de nubes, y no pudo durante varios dias volver á la observacion, hasta el 16 en que vió al satélite al lado opuesto. En la noche siguiente del 17 mientras Hall observaba el planeta para reconocer el satélite, descubrió otro interior, y las observaciones subsiguientes demostraron la realidad de la existencia de dos Lunas al rededor de Marte. De las observaciones hechas posteriormente resulta, que el satélite externo tiene unos 9. 700 metros de diámetro y el interior unos 11.300, pero dicho resultado exige todavía una confirmacion.

2º Asteróides.

259. El vacío, que hemos indicado arriba existir entre Marte y Júpiter segun la ley de las distancias de los planetas al Sol, ha sido llenado por un gran número de pequeños planetas, á los que Herschel dió el nombre de asteróides. El 1º de Enero de 1801 fué des-

cubierto por Piazzi en Palermo el primero de estos, al que el descubridor dió el nombre de Céres: posteriormente se han ido descubriendo otros, y hasta la fecha llegan á más de 200; todos ellos se hallan muy cerca del lugar, que segun la ley deberia ocupar un solo planeta. Es de notar que estos planetas describen su órbita sensiblemente circular, y casi en el plano de la eclíptica, distribuidos de tal modo que, si hubieran de trazarse, se confundirian más ó ménos en un círculo; y como estas órbitas se cruzan en muchos puntos, no será imposible el que se verificara un choque por el cual pudiesen despedazarse, y dar lugar á un mayor número de cuerpos. Poco sabemos todavía sobre la constitucion física de estos cuerpos. El diámetro de cada uno es muy variable, el más grande, menor sin comparacion que la Luna, no daria un planeta igual á la Isla de Sicilia, sus volúmenes, por lo tanto, son bien pequeños; sus masas son tan diminutas, que sumándolas todas, no daria una mayor que $\frac{1}{8}$ de la de la Tierra. El espacio, que ocupan los asteróides, puede representarse por una faja igual al duplo de la distancia de la Tierra al Sol. La distancia periélia de algunos de ellos es casi igual á la distancia máxima ó afelia de Marte, de donde algunos creen que este planeta, por su pequeñez y posicion, podria considerarse como el más grande de los asteróides.

260. Cuando empezaron á descubrirse estos pequeños planetas, se creyó que fueran fragmentos de un planeta más grande despedazado, por caer casi en un mismo punto los nodos de sus órbitas; mas posteriormente, vista la disposicion tan irregular de los diferentes grupos, dicha hipótesis ya no podria admitirse. El cuadro siguiente dá á conocer algunos de los principales asteróides segun el órden de su descubrimiento.

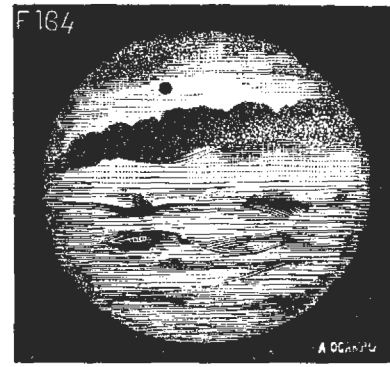
Nombres.	Epoca del Descubrimiento.	Descubridor.	
(1) Céres.	1º Enero 1801.	Piazzi	Palermo.
(2) Palas.	28 Marzo 1802.	Olbers 1	Brema.
(3) Juno.	1º Set. 1804.	Harding	Gotinga.
(4) Vesta.	39 Marzo 1807.	Olbers 2	Brema.
(5) Astréa.	8 Dicbre. 1845.	Henke 1	Driessen.
(6) Ebe.	1º Julio 1847.	Henke 2	Driessen.
(7) Iris.	13 Agosto 1847.	Hind 1	Londres.
(8) Flora.	18 Octbre. 1847.	Hind 2	Londres.
(9) Metis.	52 Abril 1048.	Graham	Markree-Castle.
(10) Igéa.	12 Abril 1849.	De Gasparis 1	Nápoles.
(11) Partenopéo.	11 Mayo 1850.	De Gasparis 2	Nápoles.
(12) Victoria.	13 Set. 1850.	Hind 3	Londres.
(13) Egesia.	3 Novbre. 1050.	De Gasparis 3	Nápoles.
(14) Irene.	19 Mayo 1851.	Hind 4	Londres.
(15) Eunomia.	29 Julio 1851.	De Gasparis 4	Nápoles.
(16) Priques.	17 Marzo 1852.	De Gasparis 5	Nápoles.
(17) Tetis.	17 Abril 1852.	Sutker 1	Biek.
(18) Melpómenes.	24 Junio 1852.	Hind 5	Londres.
(19) Fortuna.	22 Agosto 1852.	Hind 6	Londres.
(20) Masalia.	19 Set. 1852.	De Gasparis 6	Nápoles.
(21) Lutetia.	15 Novbre. 1852.	De Gasparis 7	Nápoles.
(22) Calíopes.	16 Novbre. 1852.	Hind 7	Londres.
(23) Talía.	15 Dicbre. 1852.	Hind 8	Londres.
(24) Temis.	5 Abril 1853.	De Gasparis 8	Nápoles.
(25) Focéa.	6 Abril 1853.	Chacornac 1	Marsella.
(26) Prosérpina.	5 Mayo 1853.	Luther 2	Biek.
(27) Euterpe.	8 Novbre. 1853.	Hind 9	Londres.
(28) Belona.	1 Marzo 1854.	Luther 3	Biek.
(29) Amphitrites.	1 Mayo 1854.	Marth	Londres.
(30) Urania.	22 Julio 1854.	Hind 10	Londres.
(31) Euphrósina.	2 Set. 1854.	Fergusson 1	Washington.
(32) Pamona.	26 Octbre. 1854.	Goldschmit 2	París.
(33) Polimnia.	28 Octbre. 1854.	Chacornac 2	París.
(34) Circes.	6 Abril 1855.	Chacornac 3	París.
(35) Leucotea.	19 Abril 1855.	Luther 4	Biek.
(36) Atalanta.	5 Octbre. 1855.	Goldschmit 3	París.
(37) Te.	5 Octbre. 1855.	Luther 5	Biek.
(38) Leda.	12 Enero 1856.	Chacornac 4	París.
(39) Leticia.	8 Febrero 1856.	Chacornac 5	París.
(40) Armonía.	31 Marzo 1856.	Goldschmit 4	París.

261. Largo seria enumerar todos los demás; pues cada dia vá aumentando su número. En 1874 el número de los asteróides llegaba á 150. En 1875, en Noviembre, se descubrieron cuatro más: el 2 de Noviembre Paul Henry descubria el 151, y el 8 de dicho mes, su hermano Prosper Henry descubrió el 152: al mismo tiempo se descubrieron en el observatorio de Pola otros dos pequeños planetas cuyo número total en dicha época llegaba á 154; ahora pasan de 200. La luz que reflejan del Sol es muy débil, y aun variable por las diferentes distancias del Sol á que se alejan. Los diámetros no han podido ser medidos, más solo han podido deducirse de la diferencia en la intensidad de la luz: los mayores son como estrellas de 7ª magnitud y todos los demás no pasan la 10ª

3º Júpiter.

262. Júpiter es el planeta más grande de los conocidos hasta ahora y el más brillante despues de Vénus. Su diámetro aparente varía de 30″ á 46″, y por lo tanto, teniendo en cuenta la distancia á que está, su diámetro real es 11,2 veces mayor que el de la Tierra. Su volúmen 1.500 veces más grande y su masa 334 veces la de nuestro globo; la densidad, sin embargo, no supera el ¼ de la Tierra. El peso de los cuerpos en Júpiter es dos veces y media mayor que sobre la superficie terrestre; por lo tanto, debe resultar una presion enorme; en vista de esto y de su poca densidad, opinan algunos astrónomos que no todo está en estado sólido. Por otra parte, su aspecto presenta grandes agitaciones y variaciones en las bandas oscuras que se observan sobre su disco, y no ha faltado circunstancia en que se ha observado algun desgarro, ó abertura en las nubes, á consecuencia quizá de alguna tempestad ó huracan, como puede verse en la fig. 163 cuyo aspecto presentaba el planeta el 10 de Octubre de 1856. Para convencerse de las variaciones muy pronuncia-

das en la forma de las bandas negras, véase la fig. 164 cuyo diseño representa al planeta, tal como se le observó el 6 de Diciembre de 1857. El punto negro que se vé en la parte superior, es la sombra proyectada sobre el disco por uno de sus satélites. La intensidad de calor y luz que recibe del Sol, es 25 veces más pequeña que la que recibe la Tierra en igualdad de superficie. Su revolucion al rededor del Sol se efectúa en 11 años, $314^{ds.},83$, á razon de 29.824 millas por hora. Lo que es muy notable en este planeta es su rotacion, la cual es tan rápida que se cumple en $9^{h},55^{m}$, de lo que resulta una grande fuerza centrífuga que produce un aplanamiento muy sensible en los polos; así es que fácilmente se reconoce que su forma no es redonda. Júpiter tiene fases del mismo modo que la Luna, Vénus y Marte; las cuales, como hemos dicho hablando de Marte, prueban evidentemente la existencia de la atmósfera en este planeta, por la gradacion de la luz en el borde interior; á más de esto, las mismas fajas de que hemos hablado antes, manifiestan que el planeta está rodeado de una atmósfera. Dan una prueba más evidente de esto los mismos satélites. Cuando los satélites pasan delante del disco, se presentan más luminosos en el borde, y segun que ván adelantando hácia el centro, disminuye la luz, hasta que desaparece totalmente; en seguida acercándose más al centro, vuelve á aparecer como una mancha oscura, pasado el centro se repiten los mismos fenómenos en sentido inverso. Esto indica que en los bordes, produce todo su efecto el crepúsculo y que este no tendria lugar, si no existiese atmósfera. Otro argumento prueba que hay atmósfera en Júpiter. Cuando se eclipsan los satélites, es decir, cuando penetran en el cono sombrío que proyecta el planeta, toman al principio un color rojizo del mismo modo que se verifica en la Luna, y esto, como dijimos hablando de la Luna, depende únicamente del efecto que produce la atmósfera iluminada por la reflexion de la luz.



263. Júpiter tiene cuatro satélites: el más pequeño es mucho más grande que la Luna, y el mayor es casi igual á Marte; no obstante, puestos en relacion con el volúmen del planeta, son mucho más pequeños que la Luna con relacion á la Tierra. Galileo fué el primero que, el 7 de Eñero de 1610, descubrió los satélites de Júpiter.

Principió por observar el planeta con su nuevo instrumento, y descubrió cerca de él tres estrellitas, dos al E. y una al O. del planeta. Al dia siguiente no vió más que las dos que daban al E. Siguió las observaciones, y el 13 del mismo mes se le aparecieron cuatro. Quedó admirado del fenómeno, tanto más cuanto que la posicion de dichas estrellas iba variando todos los dias. Descubrió, pues, en realidad que habia planetas secundarios que giraban al rededor de un astro, como los planetas giran al rededor del Sol. Determinó en seguida el tiempo de la revolucion de los cuatro satélites al rededor del planeta, y tuvo por resultado que

el primer satélite	emplea		$1^d,18^h$
,, segundo	,,	,,	3, $13\frac{1}{3}$
,, tercer	,,	,,	7, 4
,, cuarto	,,	,,	16, 18.

Ahora, tomando por unidad el radio ecuatorial de Júpiter, las distancias medias de los satélites al centro del planeta, están representadas por los números siguientes:

Primer	satélite	6,05
Segundo	,,	9,62
Tercer	,,	15,35
Cuarto	,,	26,00.

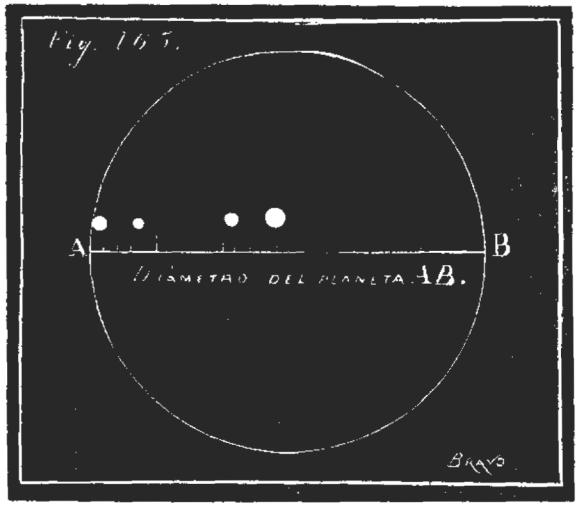
Es decir, que un observador situado en Júpiter vería cuatro lunas, una de las cuales tendria el diámetro aparente mucho más grande que el de nuestra Luna, á una distancia de 108.000 leguas, que se eclipsaria periódicamente despues de un intervalo de 1 dia y $\frac{3}{4}$. De este movimiento tan rápido se han valido últimamente los astrónomos, para determinar las longitudes geográficas: puesto que verificándose en el mismo instante absoluto de tiempo la disminucion de la luz en este satélite para todos los observadores del globo terrestre, las diferencias de horas relativas dan á conocer las diferencias de longitud. La teoría, sin embargo, de los movimientos de estos satélites es muy complicada, tanto más si se atiende, cuán dificil es regularizar por el cálculo el movimiento de la Luna, único satélite que tiene la Tierra. Los tres primeros y más cercanos penetran en el cono de sombra del planeta á cada revolucion; pero el cuarto, por su alejamiento y grande inclinacion de su órbita, pasa alguna vez á su lado. No es raro tampoco ver proyectarse sobre el disco las sombras que arrojan, y que por los puntos por donde pasa, se verifica un eclipse total de Sol.

No estará demás presentar aquí el cuadro del sistema de dichos satélites, sacado de la obra de Herschel, *Outlines of Astronomy.*

Satélites.	Duracion de la revolucion sideral.	Distancia media al planeta en radios del planeta.	Masa en partes millonésimas de la de Júpiter.
Primero.	$1^d,18^h,27^m,33^s,506$	6.04853	173
Segundo.	3, 13, 14, 36, 393	9.62347	232
Tercero.	7, 3, 42, 33, 362	15.35024	885
Cuarto.	16, 16, 31, 49, 702	26.99835	427

Satélites.	Diámetro medio aparente desde la Tierra.	Diámetro medio aparente desde Júpiter.	Diámetro real en millas inglesas.	Masa con relacion á la Tierra.
Primero.	1″,017	33′,11″	2.508	$\frac{1}{165}$
Segundo.	0, 911	17, 35	2.068	$\frac{1}{12.}$
Tercero.	1, 488	18, 00	3.371	$\frac{1}{83}$
Cuarto.	1, 273	8, 46	2.890	$\frac{1}{65}$

La fig. 165 representa la relacion de magnitud de los satélites con respecto al planeta.



Observaciones muy delicadas sobre el tiempo de las revoluciones de los satélites y sus variaciones en longitud, han dado por resultado las dos leyes siguientes:

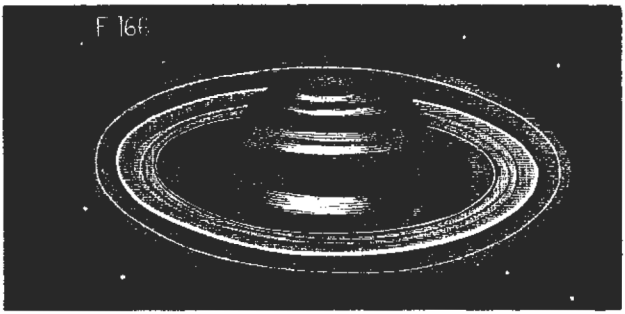
Primera ley. El movimiento medio del primer satélite más dos veces el movimiento del tercero, es igual á tres veces el movimiento del segundo.

Segunda ley. La longitud media del primer satélite menos tres veces la longitud media del segundo, más dos veces la del tercero, es siempre igual á 180° *con muy pequeña diferencia.*

De esta segunda ley se saca por consecuencia que los tres primeros satélites no pueden ser eclipsados simultáneamante, pues en este caso, las longitudes deberian ser casi las mismas, y entonces el cálculo segun la ley daria un resultado = 0°, y nó 180°.

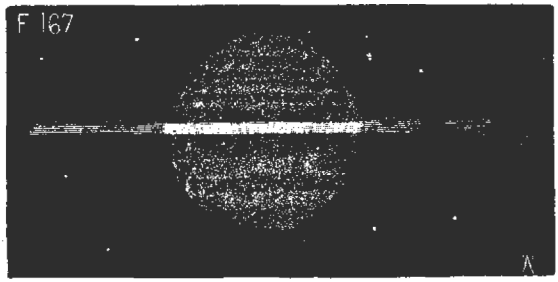
4º Saturno.

264. Entre todos los cuerpos del sistema solar, el más hermoso es sin disputa Saturno. Prescindiendo del orígen que haya podido tener en su formacion, parece haber salido de la esfera de la monotonía de los demás planetas, para presentarse como un cuerpo á parte y de un género especial. La Eterna Sabiduría que ha sembrado de estrellas el firmamento, ha querido enriquecer nuestro sistema con un cuerpo en que está reunida la belleza de muchos, no solo por la variedad de sus partes, sino por la unidad de su combinacion. La ciencia no conoce hasta la fecha un cuerpo celeste parecido á Saturno. Un vasto globo, varios anillos concéntricos, y ocho lunas que le rodean, forman un sistema, el más singular que se conozca hasta el dia. A esto se añade la variedad de los colores, la diversidad de la materia de que está formado, y la multiplicidad de relaciones en los movimientos, sujetos, sin embargo, á aquella ley universal, con la cual el Criador gobierna al universo. Daremos, pues, á conocer sumariamente las partes de que se compone. La fig. 166 representa el aspecto del planeta en su abertura máxima del anillo. El diámetro del globo es 9.022 veces mayor que el de la Tierra, aunque el diámetro aparente sea =17″,99, y su volúmen 735 veces más grande, teniendo el radio ecuatorial 14.355 leguas: su densidad es algo menor que la de Júpiter, es decir, =0.135 de la de la Tierra, y por lo tanto, hay opinion de que puede hallarse más bien en estado gaseoso, á lo me-



nos en gran parte. Gira al rededor del propio eje en 10 horas 29 minutos, y al rededor del Sol en 29 años $174^{ds.},18^{h},32^{s}$. Su ecuador forma con el plano de su órbita un ángulo de 28°,40°. El intervalo entre dos conjunciones, ó sea, la duracion de la revolucion sinódica, es de 1 año y 13 dias. El plano de la órbita forma con la eclíptica un ángulo de 2°,29′,36″. La distancia media del planeta al Sol es 9.539 veces la distancia media del Sol á la Tierra. Saturno no presenta fases sensibles, lo que puede depender de la gran distancia á que se halla del Sol. Algunos habian supuesto que este planeta tendria luz propia; pero la sombra proyectada sobre él por el anillo, indica claramente que recibe la luz del Sol. La cantidad de calor y luz es = 0.011, de la que recibe la Tierra en igual superficie. El disco del planeta presenta fajas oscuras análogas á las de Júpiter y manchas blancas en los polos; la observacion de estas bandas oscuras, que generalmente son paralelas al ecuador, se hace más dificil, por no tener un tinte tan pronunciado como en Júpiter. Con todo, en 1683 Cassini observó en el planeta unas bandas más claras, y otras más oscuras intermedias. Herschel notó alguna variacion en la configuracion de dichas bandas, y áun una disminucion de luz en los polos, en circunstancias en que el Sol permanecia más tiempo iluminando dichas regiones. Esto bien puede ser efecto de la temperatura que disuelva las nieves ó disipe las nubes, las cuales dos cosas suponen en el planeta la existencia de una atmósfera. Lo que llama más la atencion en este planeta es el anillo, ó más bien, los anillos concéntricos que lo rodean sin tocarlo. Observando al planeta con el telescopio, parece á primera vista un cuerpo de tres luces, segun la expresion de Galileo, la primera vez que con su telescopio observó á Saturno en 1610. Pero si bien se observa, se distingue ante todo un grande anillo que lo rodea, y que está compuesto de otros varios anillos concéntricos. De estos los principales son tres, bien distintos y diferentes entre sí por su color y su luz: 1º un anillo externo formado de varias fajas concéntricas de las cuales dos son muy pronunciadas: 2º otro anillo interno, separado totalmente del exterior por una lista oscura y ligeramente velada, quizá por la atmósfera, cuya luz es más intensa en el borde que hácia el centro. Muchos son los pequeños círculos concéntricos que forman este anillo; pues á veces se han contado más de 7, aunque para observarlos es necesario hallarse en circunstancias muy favorables: y 3º finalmente, un tercer anillo trasparente que parece consistir en una ligera atmósfera que rodea el interior del anillo grande. El espesor de estos anillos no llega á $\frac{1}{20}$ del radio terrestre, de modo que cuando la visual del observador es paralela al plano del anillo, queda este invisible, menos una pequeña línea luminosa que atraviesa el dis-

co del planeta, [fig. 167]. La superficie de los anillos parece más bien curva, pues la sombra del disco sobre la parte del anillo opuesta al Sol, vuelve la convexidad al planeta, lo que no puede verificarse nunca, si un globo proyecta sombra sobre una superficie plana. El anillo es sensiblemente circular, aunque aparezca elíptico; tiene un movimiento de rotacion que lo cumple, segun Herschel, en $12^h,30^m$. Sin este movimiento caeria en el planeta. El diámetro externo del anillo es de cerca de 178.000 millas y el del planeta 65.000, el espesor del anillo no llega á 250 millas. El globo de Saturno no está perfectamente en el centro del anillo, sino que tiene un movimiento de oscilacion, de modo que ya va hácia una parte, ya hácia otra del anillo. No es raro, especialmente cuando el anillo está en su abertura máxima, ver las estrellas en el espacio vacío entre el globo y el anillo.



265. Saturno tiene ocho satélites que son como otras tantas Lunas; el mayor de los cuales tiene un volúmen parecido al de Marte; el último fué descubierto al mismo tiempo en Inglaterra por La Hell, y en los Estados Unidos por Bond el año de 1848. Como las distancias de los satélites entre sí no tienen una ley fija, y en algunos de ellos se nota una distancia mayor que el duplo de la que precede, no es improbable que se descubran otros. He aquí el cuadro sacado de la obra de Herschel *Outliness of Astronomy*.

Nombre de los satélites por órden de distancia al planeta.	Revolucion sidéral.	Distancia media en radios del planeta.	Longitud media en la época.	Descubridor y época del descubrimiento.
Mimas.	$0^{da}, 22^{h}, 37^{m}, 22^{s}, 9$	3.3607	286°, 58', 48" en 1790	Herschel.....1789
Encelado.	1, 8, 53, 6, 7	4.3125	67, 41, 36 " 1836	Herschel.....1789
Thetis.	1, 21, 18, 25, 7	5.3396	313, 43, 48 " "	Cassini.....1684
Dion.	2, 17, 41, 8, 9	6.8398	327, 40, 48 " "	Cassini.....1684
Rhea.	4, 12, 25, 10, 8	9.5528	353, 44, 0 " "	Cassini.....1672
Titan.	15, 22, 41, 25, 2	22.1450	137, 21, 24 " 1830	Ugenio.....1655
Hiperion.	21, 6.....	28.....	97 1849	Bond y Lassell...1848
Japhet.	79, 7, 53, 40, 4	64.3590	269, 37, 48 " 1790	Cassini.....1671

La distancia del satélite más cercano al centro del planeta, es decir, de Mimas, es de 48.233 leguas de 4 kilómetros; de 33.878, partiendo de la superficie, y de 12.646 desde el anillo. El más grande de los satélites es Titan, cuyo diámetro aparente es cerca $\frac{1}{10}$ del del planeta. Como se vé por el cuadro, el satélite más cercano gira al rededor del planeta en 22 horas y media. "No es, dice Arago á este propósito, una "de las más pequeñas sin-"gularidades del planeta "más singular que el firmamento ofrezca á la "contemplacion de los "hombres, el que una Luna cumpla su revolucion "entera en ménos de un "dia".

5º Urano.

266. Herschel fué el descubridor de este planeta el 13 de Mayo de 1781, aunque al principio creyó que era un cometa. Los cálculos que se hicieron, fundados sobre su movimiento, dieron á conocer que su órbita no era ni la parábola, ni la elipse propia de los cometas, sino casi circular; y que su distancia á la tierra era aproximadamente 19 veces la distancia del Sol á esta.

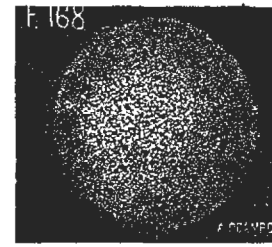
Cuando se concluyeron los trabajos que mostraban ser aquel astro un nuevo planeta del sistema solar, Herschel reclamó su derecho, y propuso llamarle *Georgium sidus*, la estrella de Jorge. Pero á causa de la dificultad que podia presentar el nombre de estrella, pues esta parece implicar la idea de inmensidad, fueron propuestos diferentes nombres; entre todos prevaleció el de Urano que propuso el astrónomo Bode, adoptando, sin embargo, como signo del nuevo planeta la cifra ♅, que reproduce la inicial del nombre del ilustre astrónomo de Slough. Este planeta en su distancia media á la Tierra presenta un diámetro de 4″, y su diámetro real es de 4.3 el de la Tierra, es decir, 12.319 leguas; su volúmen 82 veces y su masa 15 veces mayor, pero su densidad no llega á ser $\frac{1}{5}$ de la de la Tierra; su atmósfera tiene un poder absorbente muy considerable. La cantidad de luz y calor que recibe del Sol es 0.003 de la que recibe la Tierra en igualdad de superficie, y cumple su revolucion al rededor del Sol en $84^{años}, 5^{ds.}, 83$. Por las observaciones hechas con el espectroscopio, parece que se puede deducir que es en parte luminoso por sí mismo. De la rotacion al rededor de su eje poco sabemos, ni tampoco de la direccion de éste, por la dificultad que hay para observar, no solo las fases, sino tambien las manchas, apenas existen. Sólo se ven algunas ligeras sombras; de lo cual alguno ha concluido que gira al rededor de su eje en 10 horas poco más ó menos. Mucho se ha disputado sobre el número de los satélites de Urano. Herschel asegura haber visto seis, pero ningun astrónomo posterior ha visto más de dos; Lassell, habiendo llevado á Malta su telescopio de 3 piés de diámetro, descubrió en los meses de Octubre y Noviembre de 1851 dos más, y tuvo la suerte de ver los cuatro aun mismo tiempo. "Si existen más satélites, decia el mismo Lassell, se necesita para descubrirlos una fuerza muy superior á la de mi instrumento". Lo que es muy singular en este pequeño sistema, es que las órbitas de estos planetas son casi perpendiculares á la órbita del planeta grande y su movimiento es retrógrado. He aquí el cuadro de dichos satélites segun Lassell.

Nombres.	Duracion de la revolucion.	Distancia medida del planeta.	Inclinacion á la ecliptica.
Ariel.	$2^{ds.}, 12^{h}, 29^{m}, 30^{s}, 66$	14	90°
Umbriel.	4, 3, 28, 8, 00	20	90°
Titania.	8, 16, 56, 24, 88	33.2	100.34
Oberon.	13, 11, 6, 55, 24	44.3	100.34

267. Urano raras veces puede verse á la simple vista en circunstancias favorables; su luz es tan ténue que lo pone en el órden de las estrellas de sesta magnitud; en el telescopio aparece bien redondo y de un color amarillento.

6º Neptuno.

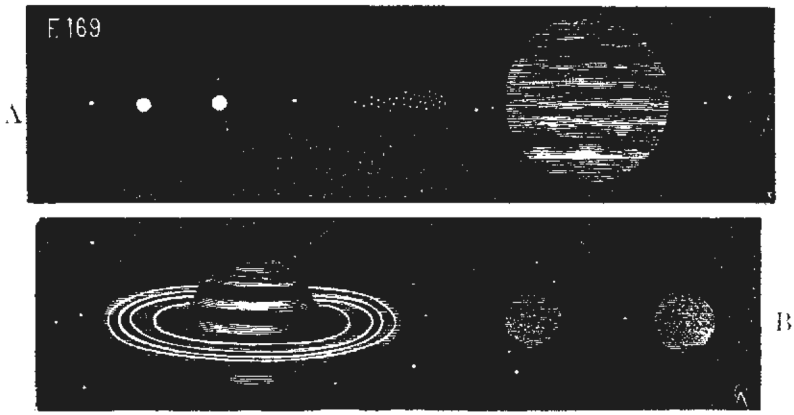
268. Este es el último planeta y el más distante del sistema solar que se conoce. Su descubrimiento ha sido un verdadero triunfo del principio de la gravitacion universal. Las tablas construidas por Bouvard sobre los movimientos de Urano no correspondian á las observaciones. Se sospechó, pues, que hubiese algun cuerpo perturbador [fig. 168]. Leverrier, director del Observatorio Astronómico de París, emprendió el trabajo animado por M. Arago, y tuvo desde luego que corregir los elementos adoptados para Urano, construir efemérides exactas que pudiesen compararse con las observaciones, y hacer evidentes las perturbaciones del planeta. Habiendo obtenido por dichos cálculos y por una diligente reduccion de las observaciones el resultado apetecido, pudo conseguir los valores exactos de las perturbaciones é introduciéndolas en las fórmulas, que solo podian subsistir admitiendo un nuevo planeta, halló los elementos de su órbita. Publicó, pues, sus resultados definitivos el 31 de Agosto de 1846, é indicó el lugar que debia ocupar en el cielo el nuevo planeta. Debia este hallarse en la constelacion del Capricornio, á poca distancia de la estrella δ de dicha constelacion. Mr. Galle en Berlin, favorecido por la coincidencia de que en esa época acababa de publicarse un mapa celeste de la region en donde se hallaba el nuevo planeta, dirigiendo el anteojo, el mismo dia que recibió el anuncio, al punto indicado reconoció el planeta que se le presentó á la vista como una estrella de 8ª magnitud. La posicion diferia de la que habia enunciado Leverrier, poco más de un grado. Este descubrimiento ocupa un lugar muy importante en la astronomía, y dá claro á conocer, cuán conformes con la realidad son las leyes que rigen la atraccion universal, halladas por los astrónomos.



269. El diámetro de Neptuno es á la distancia media de la tierra 2″7, es decir, 4.8 veces mayor que el de nuestro globo; su volúmen es 111 veces más grande; la masa 24 veces, la densidad poco más de $\frac{1}{5}$ de la de la tierra, ó más exactamente, 0.222. La cantidad de luz y calor que recibe del Sol en superficie igual es 0.001 de la de la

Tierra, aunque por observaciones análogas á las de Urano puede admitirse, y especialmente por su brillo, que tenga en parte luz propia. Cumple su revolucion en 164 años 226 dias. Su órbita forma con el plano de la eclíptica un ángulo de 1°,46′,59″; su revolucion sinódica, ó sea, el intervalo entre dos conjunciones, es de 367 dias. Este planeta no es visible á la simple vista: en el telescopio aparece, como se vé en la fig. 168. Su distancia media del Sol es 30.04 distancias terrestres, es decir, que Neptuno, en su distancia máxima, se aleja del Sol 1.158 millones de leguas, y en el perihelio no se acerca más de 1.138 millones de leguas.

270. Neptuno tiene un satélite que fué descubierto por Lassell en 1847 en el mes de Agosto, y verificado por Otho Struve en Poulkwa, y por Bond en Cambridge en los Estados Unidos; este satélite cumple su revolucion en $5^{ds},21^{h}$, la inclinacion de su órbita sobre la eclíptica es de 34°,7, y su distancia al centro del planeta es de 100.000 leguas. Asegura Lassell haber hallado en Agosto de 1850 otro satélite de Neptuno, pero no ha tenido otras observadores hasta la fecha, y por lo tanto, este nuevo descubrimiento merece todavía ser confirmado.



No estará de más presentar aquí la comparacion del diámetro del Sol AB, con el de los demás planetas en la fig. 169.

CAPITULO III.

Meteoros.

271. Llámanse meteoros unos cuerpos de pequeña magnitud que, á semejanza de los asteróides que se hallan entre Marte y Júpiter, existen en los espacios planetarios, y que encontrados por la Tierra en su curso anual son atraidos por ella y caen, por consiguiente, sobre su superficie, encendiéndose, mientras atraviesan la atmósfera, por la enorme velocidad con que se precipitan.

272. Hay tres especies que son: las piedras meteóricas que propiamente se llaman *aerólitos* y estos caen sobre la superficie terrestre; los globos de fuego llamados *bólides*, los cuales aparecen y desaparecen en pocos segundos y presentan un diámetro apreciable; finalmente las *estrellas errantes*, que trazan en el cielo una línea luminosa más ó ménos brillante y de un color diferente, segun la diferente materia de que se componen. Daremos brevemente algunas noticias sobre cada uno de estos meteoros.

§ 1.

273. *Aerólitos.* Estos son unas piedras meteóricas formadas de materias muy variadas. Aun cuando la mayor parte de las veces presenten el aspecto del hierro, con todo, no solo de este metal están formados, sino que tienen una composicion en general muy complicada. El oxígeno, el fósforo, el carbono, el magnesio, el nikel, el cobalto, el potasio, el aluminio, el magnesio el cromo, el estaño, el cobre, el silicio, el calcio y otros metales entran en la composicion de estos cuerpos. No se sabe hasta la fecha que haya caido ninguno, que contengan sustancias extrañas á las que conoce la química. Se suele distinguir entre la caida de piedras aisladas y la lluvia de piedras, aunque en realidad tengan el mismo orígen. Refiere Conrado Licosthene que en 1460 antes de Jesucristo, "Dios hizo caer del cielo grandes piedras" y Plutarco y Plinio refieren la caida de una enorme piedra cerca del rio Egos, en Tracia, el año 400 antes de Jesucristo. Son célebres en la antigüedad las lluvias de piedras, caidas una en Monte Albano en 654, segun Tito Livio, y la otra en Roma, segun Julio Obsecuente, el año 343 antes de Jesucristo; posteriormente se ha hablado mucho de las lluvias de piedras, acaecidas en Sena el año 1794 y en Aigle de Normandía en

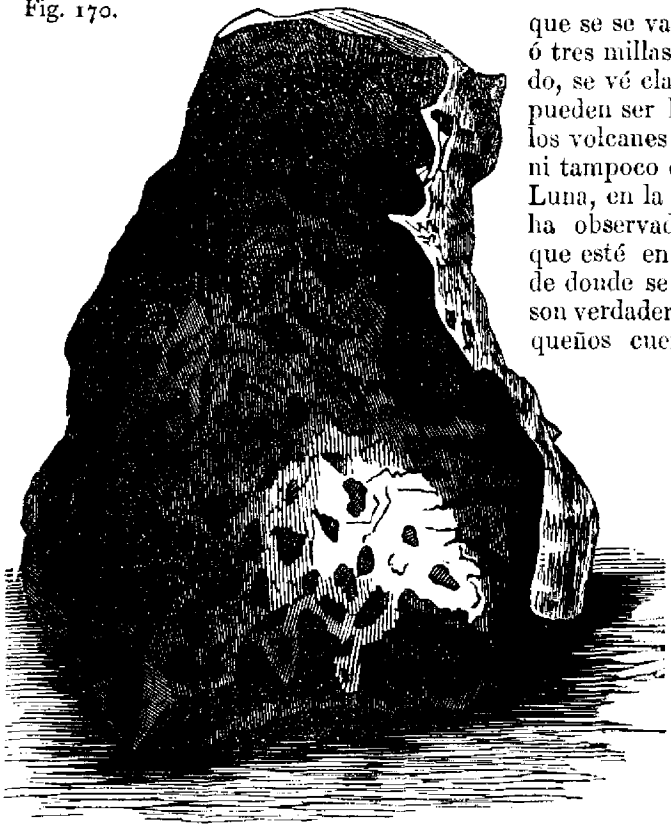
1803, cuyas circunstancias pudieron estudiar los naturalistas. Largo seria enumerar todas las piedras caidas desde que se observaron por primera vez. Arago en su Astronomía Popular, tomo 4º pág. 184, se ha ocupado en consignar las fechas en que hay memoria de la caida de dichas piedras: en su enumeracion emplea no ménos de veinte páginas, partiendo desde el año 1418, antes de la era cristiana, hasta 1847 del presente siglo.

274. Ordinariamente, la velocidad con que caen es tan grande, que penetran en el suelo hasta la profundidad de muchos piés. Su temperatura se eleva á muchos grados, y el aspecto que presentan á veces, manifiesta un principio de fusion; esta elevacion de temperatura depende del roce que sufren con la atmósfera terrestre, dentro de la cual adquieren en virtud de la atraccion de la tierra una velocidad tan enorme, que no es raro recorran una legua por segundo. De dia se presentan como una pequeña nube oscura, que produce una ó más detonaciones, cayendo en seguida al suelo la piedra rota, ya en muchos, ya en pocos pedazos. Pero de noche se la vé como una larga ráfaga de luz deslumbradora. Habiéndose examinado varios de esos pedazos, se los ha encontrado de un color ordinariamente gris oscuro, y aunque, como hemos dicho, contengan sustancias metálicas conocidas, con todo, su combinacion es bien diferente de la de los minerales comunes. La densidad de estos meteoros se valúa en $1\frac{1}{2}$ á $4\frac{1}{2}$ de la del agua destilada; el peso es á veces muy considerable; el que cayó en Cantonnay en 1812 pesaba 34 kilógramos; otro caido en Ensisheim en 1492, pesaba 138 kilogramos; pero el más notable que se conoce, es el que cayó en Santa Rosa de Nueva Granada en 1810, que pesaba, segun la descripcion de Boussingault y María de Rivero, 750 kilogramos: su volúmen era casi la décima parte de un metro cúbico. Cerca del lugar en donde cayó, hallaron estos dos observaderes varios fragmentos, cuya comparacion, análoga á la masa principal, contenia 92 partes de hierro y 8 de nikel. La fig. 170 representa el aerólito, observado y dibujado por Boussingault, y reducido á $\frac{1}{19}$ de su altura; á primera vista se le advierte una figura irregular y cavernosa, y cuando se le halló no tenia más que pocos centímetros fuera de la superficie del suelo; todo lo demás quedaba enterrado. Muchas de estas piedras han caido á menudo en el desierto de Atacama, en la parte occidental, y una de ellas que se halló en 1864, fué remitida á la Academia de París. Su forma era irregular; pero se notaban en ella tres prominencias que dieron motivo para sospechar que tuviesen poder atractivo como los imanes; sin embargo, no tuvo accion ninguna sobre la aguja imanada, sino cuando se la ponia en direccion del meridiano magnético, ejerciendo ese poder tan solo por influencia, lo que indica la gran cantidad

de hierro que contenia. Su superficie, aunque presentara partes salientes y entrantes, con todo estaba lejos de ser áspera; parecia más bien hallarse en un estado de fusion.

275. Como la velocidad de estos cuerpos es tan extraordinaria, que se se valúa en dos ó tres millas por segundo, se vé claro que no pueden ser lanzados de los volcanes terrestres, ni tampoco de los de la Luna, en la cual no se ha observado ninguno que esté en actividad; de donde se infiere que son verdaderamente pequeños cuerpos, ó astros, probablemente restos de aquellas masas enormes que, en virtud de la mútua atraccion, formaron desde un principio los planetas, y que quedando aislados en los espacios planetarios, atraidos por un cuerpo mayor, caen de vez en cuando sobre él; y esto que se verifica en la Tierra, no es dificil que suceda tambien en los otros planetas. Cosa bien árdua es conocer su colocacion en el espacio y las leyes de sus movimientos, atendida la dificultad de observarlos y la imposibilidad de prevenirlos; á más de que, las más veces, tienen por testigos de su caida á personas poco instruidas en la materia, y que no saben tomar en cuenta las circunstancias más importantes. Como quiera, pues, que tienen semejanza con otro género de cuerpos de que vamos á hablar, no es dificil asignarles un movimiento.

Fig. 170.



§ 2.

276. *Bólides.* Estos no se diferencian de los aerólitos, sino en el tamaño y en la duracion de su aparicion. Se presentan como grandes globos de fuego, que á veces iluminan gran parte de la superficie terrestre. Suelen dejar tras sí una cola luminosa, que dura más ó ménos tiempo; y por fin, despues de una fuerte detonacion, parecida á una descarga de artillería, se apagan, y los pedazos que son verdaderos aerólitos, caen esparcidos sobre una grande extension de terreno. De dia llegan á veces á eclipsar la luz del Sol, como se refiere haber acontecido el año 91 antes de la era cristiana. Halley en su obra "*Transactions philosophiques*" dá cuenta de la "aparicion "de un meteoro tan brillante casi como el Sol. Las estrellas desa-"parecieron completamente; casi no se veia la Luna, aunque tenia "ya nueve dias. La desaparicion del meteoro fué seguida de una "fuerte detonacion. La altura vertical del fenómeno durante toda la "aparicion era de 119 leguas. Su diámetro real era de 2.560 metros "y se movia con una velocidad de 2.700 metros por segundo [año "de 1718]."

277. En la noche del 4 al 5 de Enero de 1837 se observó un bólide que se dirigió de Norte á Sur, dejando detrás de sí una larga cola luminosa, en Vesoul, Consses y Niederbronn. Las observaciones que se hicieron, permitieron á Mr. Petit, Director del observatorio Astronómico de Tolosa, calcular su distancia á la Tierra, su velocidad y su diámetro real. El há l astrónomo halló que dicho meteoro tenia 2.200 metros de diámetro, que se movia recorriendo 5.200 metros por segundo, y que su distancia á la Tierra no era menor de 68 leguas (*Comptesrendus de l'Academie des sciences*, Tom. XIX A. XXXII).

278. En general, el número de los bólides que se observan, es sin comparacion, mayor que el de los aerólitos. Mr. Arago, para enumerar los bólides de que hay memoria en la historia de la Astronomía, no emplea ménos de 44 páginas. No debe creerse, sin embargo, que todos los bólides lleven un rastro luminoso detrás de sí, ni que todos produzcan una detonacion, despedazándose en muchas partes, pues de 168 de estos meteoros que observó el astrónomo Mr. Coulvier-Gravier, solo 19 se rompieron; 96 fueron seguidos de una cola luminosa, y 70 parecieron solamente como un disco luminoso que recorrió un espacio del cielo y desapareció súbitamente. Un fenómeno notable se observó en 6 de ellos, y fué que en medio de su curso

parecieron estacionarios; dicha detencion puede explicarse fácilmente, si se considera que bien puede el meteoro seguir en el espacio un curso dirigido segun la visual del observador, del mismo modo que se explica la estacion de los planetas, sin que por eso dicho curso sea real. De lo dicho podria surgir la dificultad de que los aerólitos no sean otra cosa que los mismos bólides, que experimentan una ruptura en virtud de una fuerza expansiva interior. Aunque, como hemos dicho, pueden los bólides dar orígen á los aerólitos, con todo ciertas llúvias de aerólitos y á veces la caida de uno solo de estos han tenido lugar sin ser precedida de la aparicion de ningun bólide; han caido estas piedras tan de repente y bajo un cielo tan sereno y despejado, y tan sin detonacion alguna, que no ha sido posible indicar el lugar de su procedencia, ni la direccion de su marcha, como se verificó en Kleinwenden el 16 de Setiembre de 1843.

§ 3.

279. *Estrellas errantes.* Admitiendo, como se ha dicho, una multitud de pequeños cuerpos errantes por los espacios planetarios, puede acontecer que estos encuentren á la Tierra en cierto punto del cielo, y aunque son atraidos por ella, con todo, por la velocidad que llevan en su movimiento, tan solo se rozan con las partes más altas de la atmósfera terrestre, entrando en la cual se encienden, y saliendo de ella vuelven á apagarse; esta especie de meteoros son las estrellas errantes ó fugaces. Desde fines del siglo pasado la atencion de los astrónomos se ha fijado más detenidamente en dicho fenómeno. Se creia al principio que fuesen simplemente fenómenos atmosféricos, ó aglomeraciones de hidrógeno inflamado; pero reconocida en ellas una paralaje, no ha sido dificil clasificarlos en el número de los cuerpos que tienen orígen más allá de nuestra atmósfera. En 1798, por primera vez los astrónomos Brandes y Benzemberg observaron simultáneamente en dos puntos diferentes el curso, la posicion y todos los caracteres que presentaba una misma estrella errante. Lo mismo hicieron posteriormente en Inglaterra Jarcy y Bevan, en Alemania Harding y Pottgeissen en 1.800 y 1.801. En 1824 Mr. Quetelet emprendió en Bélgica una série de observaciones análogas y en 1833 se ejecutaron los mismos trabajos por Branden y sus colaboradores en Leipzig, Weimar, Gera y Breslau. Del conjunto de todas estas observaciones pudo sacarse por resultado que muchas de estas estrellas pasaban á 200 leguas de altura sobre la superficie terrestre, otras á ménos de dos leguas; que recorrian á veces 80 leguas sin apagarse y con una velocidad de 3,5 y hasta 8 leguas por segundo. En estos últimos años las observaciones de las estrellas e-

rrantes se han aumentado, de modo que parece ya resuelto el problema de dichos meteoros, el que tambien se ha hecho de suma importancia, no solo con respecto al fenómeno en sí y á varias otras cuestiones físicas y astronómicas, sino principalmente con respecto á la altura de la atmósfera terrestre [1].

Ya se habia observado que el mayor número de estrellas errantes solia aparecer á principios de Agosto, siendo el 10 de dicho mes y el 13 de Noviembre los dias de su máximum. Ahora bien: esto daba

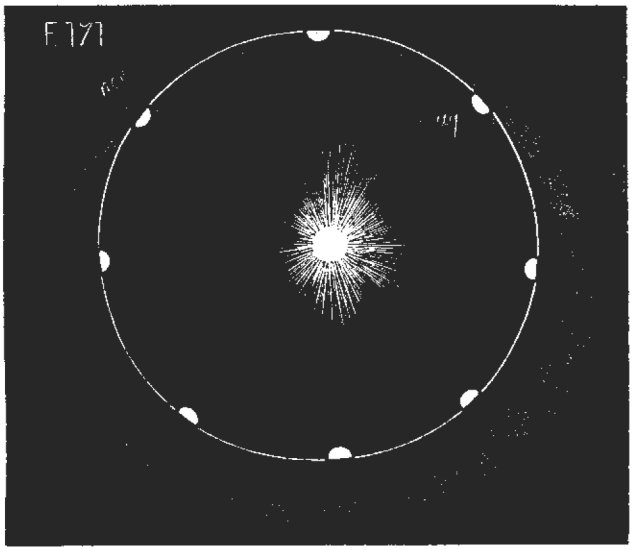
(1) Uno de los principales objetos que se propuso en 1862, 63 y 64 el P Secchi en las observaciones de las estrellas errantes, fué conocer su paralaje, para deducir de ellas la altura á que estas se encienden, y de este modo averiguar la altura de la atmósfera, estando ya admitido generalmente que estos pequeños cuerpos esparcidos en los espacios planetarios, encontrando nuestra atmósfera y comprimiéndola con gran violencia por la gran velocidad que llevan, desarrollan un calor tan grande, que se inflaman; por lo tanto, el principio de ignicion debe verificarse más ó ménos en los límites de nuestra atmósfera. Conocida, pues, por medio de la paralaje la altura en que se encienden dichos meteoros, pueden determinarse aproximadamente los límites de la atmósfera. He aquí el resultado de las alturas de la mayor parte de estas estrellas, observadas contemporáneamente en Roma y Civita Vecchia en dicha época. Me contentaré con referir lo que el dicho sábio Director del Observatorio Astronómico Romano publica en su *Bullettino Meteorologico*, 30 Setiembre 1864. Aunque imperfectos, son, sin embargo, suficientes estos estudios para suministrar algunas conclusiones, que pueden tenerse como seguras por la multitud de datos sobre que están fundadas.

La primera es que la altura media á que se encienden las estrellas es de 100 kilómetros. En efecto; la altura media de las 89 estrellas examinadas es 101 kilómetros; y las trayectorias de otras 14 construidas en el plano que pasa por los dos observadores es 93 kilómetros, lo cual es necesariamente menor por pertenecer á un punto inferior y nó al culminante. La altura media de los puntos de extincion es 75 kilómetros. El máximum de la altura es 260 kilómetros. Aunque es preciso advertir, que dicha altura es algo precaria en nuestro sistema de construccion. Sin embargo muchos casos de altura superior á 200 kilómetros me parecen seguros. La mayor parte de las estrellas se encienden en un punto más bajo como aparece por el cuadro siguiente:

ESTRELLAS SEPARADAS SEGUN LAS ALTURAS.

De	40	á	60	kil.	6
,,	60	,,	80	,,	7
,,	80	,,	100	,,	10
,,	100	,,	120	,,	17
,,	140	,,	160	,,	5
,,	160	,,	180	,,	2
,,	180	,,	200	,,	1
,,	200	,,	220	,,	2
,,	220	en adelante			3
					53

por conclusion que la tierra recorriendo su órbita, despues de haber pasado por el perihelio, viniese á encontrar cada año en el mismo punto el lugar en donde se mueven estas masas planetarias al rededor del Sol, y por lo tanto, atraidas por el globo terrestre, penetrando en la atmósfera se encienden no difiriéndose de los bólides y de los aerólitos, sino en cuanto siendo estos unas masas más considerables, llegan á la Tierra sin ser volatilizadas, mientras que las estrellas errantes pueden, aun sin despedazarse, reducirse á menudísimo polvo, ó sinó, atravesar la atmósfera, y seguir su curso despues de haberse apagado. La fig. 171 representa el supuesto círculo de masas planetarias, atravesado por la tierra en los meses de Agosto y Noviembre.



280. Dada esta idea general sobre las estrellas errantes, creo muy útil exponer aquí la bellísima teoría del señor profesor Schiapparelli, director del Observatorio Astronómico de Milán. Él divide las estrellas errantes en dos clases. A la primera pertenecen las *sistemáticas*, á saber, aquellas que parecen tener orígen en un punto situado cerca de la estrella η de la constelacion de Perseo, y del cual punto divergen en todo sentido. La otra es la de las que él llama *esporádicas*, esto es, raras ó solitarias, y son en número mucho menor; estas no tienen ley fija en sus movimientos; se ven aisladas, y partiendo de cualquier punto del cielo, toman cualquiera direccion. Ahora bien; puesto que la abundancia máxima de dichas estrellas se verifica poco antes que se levante el Sol, y la mínima pocas horas despues de haberse puesto, pareceria que dicho fenómeno no tuviera que atribuirse á orígen cósmico. Oigamos, no obstante lo que dice el susodicho profesor. "A pesar de

"estas apariencias, espero poder demostrar que las variaciones hora-
"rias de las estrellas errantes, lejos de oponerse á la teoría cósmica,
"son más bien su más espléndida prueba. He aquí de qué modo:
"Tomemos por base de nuestro raciocinio la teoría cósmica bajo la
"forma á que la han llevado los sábios trabajos del Profesor. Heis,
"y de los Señores Alejandro, Herschel y Greg. [1]. Dichos sábios
"demostraron que las estrellas verdaderamente *esporádicas*, á saber,
"en el verdadero sentido de la palabra, no existen sino en número
"muy pequeño, en comparacion de la gran multitud de las *sistemá-*
"*ticas*, y que el fenómeno del 10 Agosto es el más evidente entre
"muchos otros análogos, que no pueden fácilmente observarse, sino
"por los que emplean un detenido trabajo y atencion. Y aunque no
"sea obra de pocos años y de pocos observadores el establecer con
"exactitud los puntos de radiacion, y las épocas de todas estas llú-
"vias meteóricas cuyo número, comprendido tambien el hemisferio
"austral, puede fácilmente pasar de centenares; con todo, por lo
"que se ha hecho hasta ahora, puede ya reconocerse, que las estre-
"llas errantes vienen de todas partes de los espacios celestes, y con
"una abundancia casi igual en todas partes, si se exceptúa la llúvia
"del 10 de Agosto".

"La abundancia parece más ó ménos igual en todas las estaciones
"del año, aunque sobre este punto importantísimo serian de desear
"estudios más prolijos. No obstante, supondremos, que las estrellas
"errantes puedan llegar hácia nosotros de todas partes del espacio
"en número más ó ménos igual, cualquiera que sea la estacion del
"año".

281. "Ahora pues, si imaginamos á la tierra fija en medio de es-
"ta nube de proyectiles, es claro que estos vendrán á caer igual-
"mente sobre todas las partes de su superficie: lo mismo se verifica-
"rá, si la tierra gira sobre su eje. Si al contrario, suponemos á la
"tierra dotada de un movimiento progresivo, incomparablemente
"más lijero que el de dichas estrellas errantes, es claro que ella de-
"jará detrás de sí un vacío, del mismo modo que una bala
"de cañon que atraviesa un enjambre de mosquitos. Todos los cho-
"ques se verificarán en el hemisferio anterior, que tiene por eje
"la direccion, segun la cual, la tierra se adelanta. En esta hipóte-
"sis, las estrellas errantes deberán observarse hasta tanto que esté
"sobre el horizonte del observador aquel punto del cielo, hácia el
"cual se dirige la tierra; pero viniendo á estar debajo, deberá cesar
"inmediatamente la presencia del fenómeno. Finalmente, entre un re-

(1) Heis, Montkley Notices, vol. XXIV pág. 213. A. Herschel and Greg. Proceeding of the Butisk Meteorological Society. Vol. II pág. 302.

"poso absoluto y una velocidad enorme, podemos concebir para la "tierra un estado medio en el cual ella adelante con una velocidad "comparable á la que llevan esos pequeños cuerpos cósmicos; se "verificará entonces un estado de cosas medio entre los dos prece-"dentes; las estrellas errantes se manifestarán con abundancia varia-"ble durante el dia, y su número dependerá de la elevacion del pun-"to celeste, hácia el cual se dirige la tierra. Desde luego daremos á "este punto el nombre de *ápice*. Es facil deducir, como la abundan-"cia máxima debe tener lugar cuando el *ápice* llega á su altura má-"xima y se halla en el zenit del observador, y la mínima, cuando "ocupe el nadir".

282. "Ahora, si consideramos á la tierra en su movimiento anual, "veremos que su *ápice* es contínuamente variable. Recorre en un "año toda la eclíptica conservándose al poniente del Sol, y á una "distancia casi constante, oscilando entre 89° y 90°. Dicho ápice "pasa por el meridiano superior en las horas de la mañana, y por "término medio cerca de las 18^h, y por el meridiano inferior, cerca "de las 6^h de la tarde, aunque, segun las estaciones, estas épocas "pueden variar algo. Sí, pues, lo que hemos dicho se verifica "realmente, la cantidad máxima de estrellas errantes debe obser-"varse por la mañana, y la mínima por la noche: que es lo que jus-"tamente resulta de las observaciones de Coulvier Gravier." Entra en seguida en la discusion matemática del fenómeno, la que no creo propia del presente tratado. Baste lo dicho como una prueba de cuanto progresa la ciencia fundada sobre observaciones exactas y estudios prolijos.

CAPITULO IV.

Cometas.

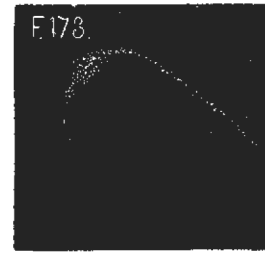
§ 1.

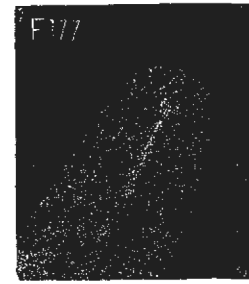
Aspecto general de los cometas.

283. Los cometas son astros errantes á semejanza de los planetas, que no tienen en la esfera celeste un lugar fijo. Sin embargo, se diferencian de los planetas, no solo por su constitucion física, sino tambien por las leyes que rigen sus movimientos, y las más veces áun por el aspecto que presentan. Hemos dicho *las más veces*, porque ha habido ocasion en que se los ha confundido con un planeta en los primeros dias de su aparicion. En efecto; sabemos que en 1781 el astrónomo Guillermo Herschel, tomó por cometa el nuevo astro que descubrió y que posteriormente se reconoció ser el planeta Urano.

284. El nombre de cometa se deriva del griego κομη que significa "cabellera", porque el punto luminoso que presentan, y se llama *núcleo*, se halla rodeado por una nebulosidad luminosa en forma de cabellera. En los primeros dias de la aparicion de un cometa, y mientras se halla á mucha distancia del Sol, se le observa una forma redonda como la de los planetas, pero acercándose al Sol, dicha nebulosidad empieza á extenderse más y más en la parte opuesta al Sol, hasta formar una faja muy larga detrás del *núcleo* que se llama *cauda*. Cuando se hallan en el primer estado, sólo son telescópicos, pero en el segundo se hacen visibles, de modo, que todos pueden á la simple vista admirar el espectáculo magnífico, que presenta en el cielo la inmensa faja de luz, que proyectan sobre la bóveda estrellada. Antiguamente la aparicion de un cometa, era causa de terror y espanto á los pueblos ignorantes, que en ellos reconocian el pronóstico de próximas desgracias y desastres. Mas progresando la ciencia en sus investigaciones, especialmente desde algunos años á esta parte, la aparicion de un cometa, aunque súbita, ya no es más que un objeto de estudio, de admiracion y entretenimiento. En efecto, los magníficos cometas que han aparecido en 1858, 1861, 1862 y más áun el de 1882, no solo han suministrado á los curiosos un espectáculo digno de verse, sino tambien que su oportuna aparicion ha servido de argumento á los astrónomos, ya para con-

firmar, ya para rectificar las hipótesis emitidas sobre su orígen y su constitucion física. Por lo tanto, para proceder con órden, daremos á conocer los varios fenómenos que han presentado dichos cometas en sus diversas apariciones, y las consecuencias que de las observaciones han podido deducir los astrónomos sobre la naturaleza de estos cuerpos celestes. Puede decirse que el estudio más prolijo sobre la variabilidad en el aspecto que presenta un cometa, data desde el año 1835, cuando volvió á aparecer el que lleva el nombre de Halley, por ser este astrónomo el que halló en el siglo pasado el periodo de su marcha, y pudo predecir su nueva aparicion para el de 1759. A los 76 años volvió á aparecer, y fué observado en Octubre de 1835 por Herschel, hijo, en el cabo de Buena Esperanza. Las variaciones que manifestó en su aspecto antes y despues del perihelio, no pasaron desapercibidas. Las figuras 172 y 173 representan diversos aspectos del núcleo, tales como se observaron en los dias 28 y 29 de Octubre del mismo año.

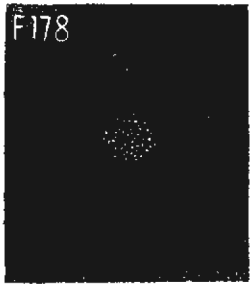


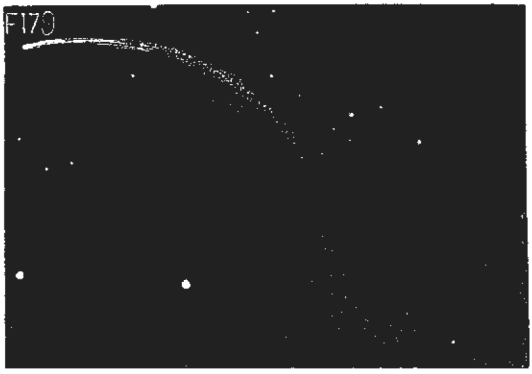


Fué de nuevo examinada en 25, 26, 28, y 31 de Enero, y el núcleo manifestó los aspectos representados en las figuras 174, 175, 176 y 177.

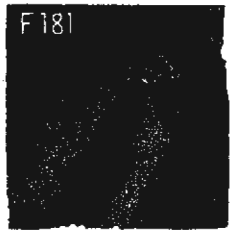
No menos variadas fueron las apariencias de los cometas que en años posteriores se hicieron más memorables, ya por sus extraordinarias dimensiones, ya por su mayor cercanía á la tierra, especialmente los de 1858, 1861 y 1862. Expondremos en breve sus caracteres particulares.

285. El cometa de 1858, fué descubierto por el astrónomo Donati en Florencia

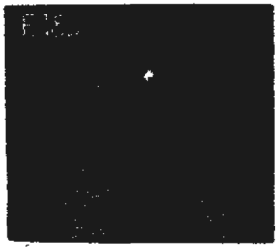


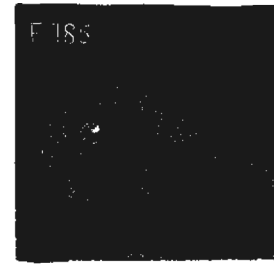


el 2 de Junio. Permaneció telescópico hasta el 11 de Setiembre, y su forma ordinaria era como la representa la fig. 178. Algunos dias despues, acercándose más y más al Sol, empezó á manifestarse en toda su magnitud, y á principios de Octubre tenia á la simple vista el aspecto de la fig. 179. En él á más de una inmensa cauda encorvada en forma de palma, se vió por algunos una segunda cauda muy delgada, que partia del núcleo, y se extendia á mucha distancia en línea recta. Examinando el núcleo con el gran telescopio del Observatorio del Colegio Romano, presentó en las varias noches el aspecto de las figuras 180, 181, 182 y 183. Se vé en primer lugar el núcleo rodeado de una aureola luminosa, en cuyo centro los haces de luces que parten del núcleo á semejanza de rayos, extendiéndose por los dos lados, vuelven atrás á unirse con el prin-

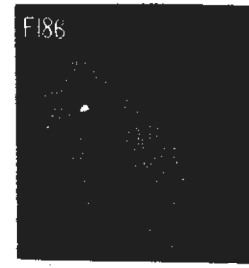


cipio de la cauda, dejando en el medio y debajo del mismo núcleo, un espacio oscuro, como si fuera una sombra proyectada por un cuerpo sólido. Dicho aspecto, como se vé en las figuras iba variando todos los dias, y el 15 de Octubre la aureola luminosa se trasformó al rededor del núcleo en una coma al revés [fig. 184]. A los pocos dias encorvándose más y más, y casi juntándose en la parte inferior, la punta extrema llegó casi á reunirse al núcleo (fig. 185). En ese estado iba alejándose del Sol y de la tierra, su luz iba disminuyendo y la nebulosidad recobraba un caracter uniforme, hasta que volviendo á la forma redonda por la contraccion de la cauda hácia el núcleo, desapareció completamente.

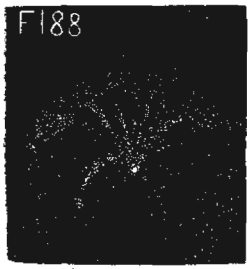




Más extraño y bizarro áun fué el aspecto que presentó el cometa de 1861. Este apareció primero por las mañanas antes de la salida del Sol en el hemisferio austral, y fué visto en Santiago de Chile el 4 de Junio. Pude facilmente observarlo, y el dia 13 reconocí que la aureola luminosa al rededor del núcleo, habia tomado la forma de un abanico [fig. 186]. A más de esto, ví en los dias siguientes al través de la inmensa cauda, partir del núcleo una lista luminosa como el núcleo mismo, y larga $\frac{1}{3}$ de la cauda más grande [fig. 187]. Que fueran dos caudas una sobrepuesta á la otra por estar ambas en direccion de la visual, lo confirmaron las observaciones posteriores hechas en el hemisferio boreal. A penas pudo distinguirse el cometa el 29 por estar sumergido en los rayos solares, pero pasando al hemisferio Norte, se le vió allá de improviso el 30 del mismo mes. Los dibujos que se hicieron en los dias sucesivos en el Observatorio del Colegio Romano, representan al cometa segun las variaciones,



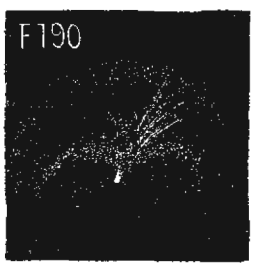
que sufria de un dia á otro. Daremos solo por ensayo los de los dias 30 de Junio, 1º 2º y 5º de Julio [figuras 188, 189 190 y 191].



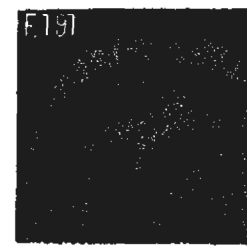
30 de Junio.

1º de Julio.

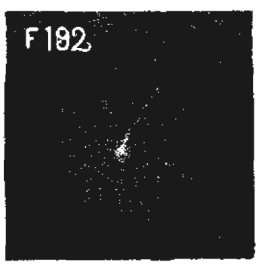
286. El cometa de 1862, descubierto á fines de Julio en el Observatorio del Colegio Romano, tuvo tambien al principio su forma redonda con un pequeño haz de luz que salia del núcleo en la parte que miraba al Sol [fig. 192]: pero en los dias siguientes fueron desarrollándose más y más los haces en forma de rayos, los cuales, si en un principio conservaron la forma rectilínea, en los dias siguientes fueron encorvándose hácia atrás [figuras 193 y 194], correspondientes al 6 y al 11 de Agosto. Una particularidad se notó en uno de estos rayos, á saber, que ya aparecia á la derecha ya á la izquierda; se sospechó que esto fuera efecto de una rotacion, y se estuvo en observacion durante muchas horas, dice el P. Secchi en su relacion, pero nos convencimos de

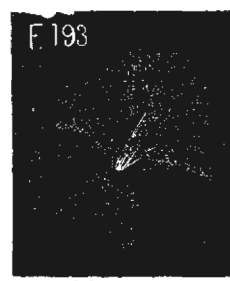


2 de Julio.

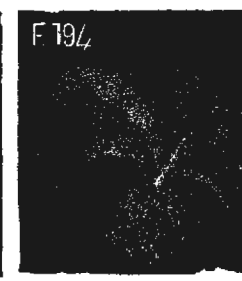


5 de Julio.





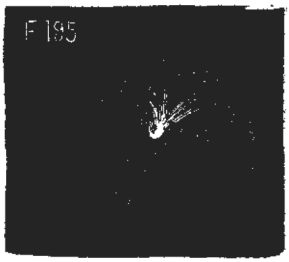
6 de Agosto.



11 de Agosto.

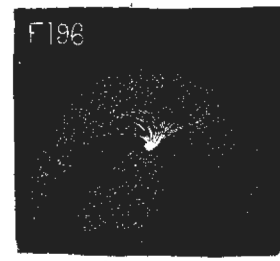
que no habia rotacion alguna, sino que permaneciendo fijo, el haz de rayos se veia extinguir, y extinguido el primero, aparecia otro á 45° de distancia; por lo tanto, habia verdaderamente dos centros

de emision de la materia. Las figuras 195 y 196 representan dichos haces como se observaron los dias 22 y 23 de Agosto.



22 de Agosto.

287. Este cometa tuvo tambien dos caudas algo encorvadas, y el 20 de Agosto se cruzaban las dos ramas en un punto distante del núcleo $\frac{1}{5}$ de la cauda más larga [fig. 197].

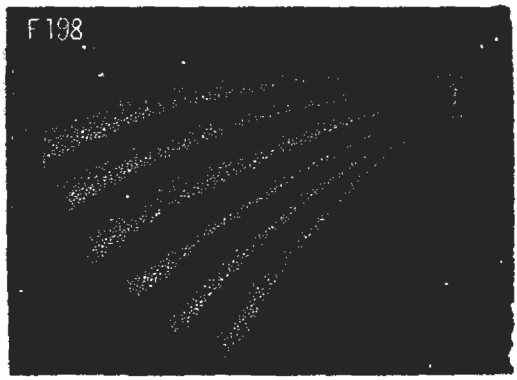


23 de Agosto.

Ahora bien; una forma tan variada en el aspecto, como la que presentan los cometas áun en cortísimo tiempo, es indicio cierto de la gran movilidad de la materia de que se componen, y por tanto, se vé cuán diferentes son de los planetas, cuyo aspecto es siempre el mismo.

No será, empero, inútil hablar algo más detalladamente sobre esas enormes fajas luminosas que llevan detrás de sí, y que por lo mismo se llaman *caudas*. La extension de ellas abraza muchos grados en la esfera celeste, no solo aparentemente segun la mayor ó menor distancia á que se hallan de la tierra, sino tambien con relacion al lugar celeste del núcleo mismo. La cauda, encorvada en forma de palma, del cometa Donati no tenia una extension menor de 40° y su longitud real era de 45 millones de millas, es decir, más que la mitad de la distancia de la tierra al Sol: la del de 1843 era de 65°, ó sea 180 millones de millas, lo que equivale á decir, que era larga más de dos veces la distancia del Sol á la tierra; la de 1680 se extendia 90° y su longitud real llegaba á 123 millones de millas, su espesor, es decir, el diámetro de la seccion abrazaba 39.000. Sin embargo, parece que hasta la fecha ningun cometa ha presentado una cauda tan extensa á la vista como el de 1861, cuya longitud aparente era de 138°, aunque su longitud real no fuera mayor de

20.000.000 de millas, y la seccion trasversal subtendia un ángulo de 8° siendo su diámetro real 622.000 millas. Aunque ordinariamente sea una la cauda de los cometas, sin embargo, hay casos como hemos visto antes para los de 1858, 1861 y 1862, en que llevan dos: pero entonces la segunda es siempre más pequeña. Con todo fué muy singular el fenómeno de un cometa que apareció en 1744, cuya inmensa cauda se dividia en seis ramas iguales [fig. 198], cuya longitud aparente era de 35° á 40°, y la extension en la extremidad de las seis caudas tomadas en conjunto no era menor de 44°. Estos fenómenos, sin embargo, son muy excepcionales, pues ordinariamente las dimensiones de los cometas son mucho más pequeñas.



Observado por Cheseaux.

288. Esto supuesto, puede preguntarse: ¿Qué es un cometa? ¿De qué se compone? ¿Cómo se forman las caudas y cuál es su orígen? Cuanto es más facil hacer estas preguntas despues de haber indicado la gran variabilidad de estos cuerpos, tanto es más dificil dar una respuesta satisfactoria. Con todo, procuraremos dar una idea de los resultados que sobre el particular posee la ciencia hasta la fecha en el párrafo siguiente.

§ 2.

Constitucion física de los Cometas.

289. Las prolijas observaciones que se han hecho, especialmente en estos últimos tiempos, han suministrado á la ciencia algunos datos por los cuales ha podido deducir, á lo ménos con suficiente probabilidad, cuál sea la naturaleza de los cometas, convencida, sin embargo, de que mucho le queda todavia que estudiar para resolver un problema tan árduo. Por lo tanto, nos contentaremos con exponer brevemente lo que hasta ahora ha podido concluir sobre el particular, apoyados en sólidos argumentos y hechos seguros. Cierto es que el volúmen de los cometas, no solo es muy variable, sino tambien que llega á sertan enorme, que á veces sobrepuja inmensa-

mente el volúmen del Sol. El cometa de 1858 superaba en volúmen muchos millones de veces el del Sol, y el volúmen del cometa más pequeño en la actualidad, á saber, el que lleva el nombre de Enck, iguala la mitad por lo ménos. Por el contrario, la masa es extremadamente pequeña en comparacion del volúmen: el núcleo del cometa II° de 1861, tenia una masa aproximadamente igual á la de 56 metros cúbicos de agua, ó á lo más, igual á dos veces la de la atmósfera terrestre, y su densidad, suponiendo un límite máximo en la masa, resultaria ser apenas 16 veces la del aire atmosférico, es decir, 0.0244 del agua destilada, y seria 1800 veces menor que la atmósfera, suponiendo en la masa un límite ínfimo. Mucho ménos densa es la nebulosidad al rededor del núcleo, pues la densidad de la materia nebulosa en torno de este en el cometa de 1861, la noche del 1° de Julio, se calcula que era apenas 0.002 del aire atmosférico, ó sea, igual al aire más enrarecido en las mejores máquinas neumáticas (1). En cuanto á las caudas podemos decir, sin temor de equivocarnos, que no tienen densidad apreciable. Tan enrarecida es la materia de que se componen los cometas que, no solo á través de las caudas, á pesar de su enorme profundidad, sino tambien á través de las partes más cercanas del núcleo, pueden verse las estrellas más pequeñas, y en 1858 pude yo mismo observar á través de la cauda del cometa la nebulosa de Messier, sin que esta sufriese empañamiento alguno; y si á través del núcleo mismo no se ven, esto se debe únicamente á su mayor brillo, que eclipsa cualquiera otra luz más pequeña. Podemos formarnos una idea de cuán ténue sea la densidad en los cometas, si reflexionamos cuán fácilmente pueden ser ocultadas las estrellas por los vapores más ligeros de nuestra atmósfera. En vista de esto, podemos con fundado raciocinio considerar á los cometas como masas de ligeros vapores, ó como acumulaciones de finísimos polvos de materia cósmica, que recorren los espacios celestes, obedeciendo á las leyes de la atraccion. Si esto es así, ¿qué efecto podrá producir el choque de un cometa con la Tierra? ¿Y será esto posible? Tratándose del cometa de 1861, sostienen algunos que la tierra pasó á través de su cauda. A este propósito he aquí lo que dice el P. Secchi (2) despues de haber analizado las circunstancias de la posicion de la tierra y la direccion de la cauda del cometa. "No podia pues la tierra atravesar la cauda del cometa.... Y si alguno quisiera divertirse con la idea de un encuentro semejante, nosotros diremos que no lo hemos apercibido, ni podiamos apercibirlo,

(1) Los datos expuestos están sacados de la relacion sobre el cometa de 1861 publicada por el P. Secchi en las "Memorie dell' Osservatorio del Collegio Romano 1863 pág. 24."

(2) Loc. cit.

pues es tan rara la materia que forma la cauda de los cometas, que la Tierra puede atravesarlas impunemente; á lo más, habria podido apropiarse una pequeña parte de ella, y no es improbable que, á pesar de la distancia á que se hallaba, lo haya hecho. Pero, ¿qué hubiera sucedido? Un infinitésimo más de materia en nuestra atmósfera, y nada más, como probablemente acontece tambien con alguna estrella errante. No podria decirse otro tanto si la Tierra se encontrara con el núcleo, el cual, aunque no sea sólido, y por lo mismo no pueda hacerla estallar en pedazos, con todo, podria producir consecuencias poco agradables." En otro lugar hablando del choque posible del núcleo de dicho cometa con la Tierra en la doble condicion de que la masa fuera en un límite ínfimo, ó sea, igual á 56 metros cúbicos de agua, ó en un límite superior igual á dos millonésimas del globo terrestre, se expresa así. "En el primer caso el choque seria de poca importancia para modificar el estado de la Tierra, pero capaz, sin embargo, de ocasionar alguna consecuencia lamentable: en el segundo, siendo igual el cometa á dos veces poco más ó ménos la masa de la atmósfera terrestre, no seria del todo inofensivo, si viniese á embestirnos, pudiendo fácilmente alterar completamente la constitucion física de nuestra atmósfera, y variar el nivel de los mares. En efecto, se sabe que toda la masa atmosférica equivale á una capa de agua de 10 metros de altura: ahora si el cometa suponiéndolo el doble, viniese á vaciarse sobre la tierra en la hipótesis de ser todo de agua, levantaria el nivel de los mares 20 metros ó más, teniendo en cuenta la parte del globo que ocupan los continentes. De un encuentro semejante nosotros no nos atrevemos á negar absolutamente la posibilidad, como alguno lo ha negado, pues, si es poco probable para un cometa determinado, atendido por otra parte su gran número (1), el peligro no puede decirse imposible: mas nada hasta ahora nos autoriza para que lo creamos inminente: y con respecto á los cometas que conocemos, puede decirse ciertamente muy poco probable. Solo la infinita Providencia, que todo lo ordenó para el bien del hombre y para su conservacion, puede saber si una catástrofe tan grande está preparada; pero su probabilidad no es en mucho diferente de la que hay de que reviente un volcan justamente en el punto del globo en donde vivimos, lo cual por cierto no basta á perturbar el sueño de nadie." (2).

(1) El número medio de los cometas aparecidos desde que se buscan con los instrumentos es de 4 al 6 por año.

[2] *Memorie dell' Osservatorio del Collegio Romano loc. cit.*

§ 3.

Otras particularidades de los cometas.

290. Dos problemas importantes se han propuesto los astrónomos resolver sobre los cometas. El primero es si la luz que manifiestan, es propia, ó más bien reflejada por el Sol; y el segundo, cuál sea el orígen de la formacion de las caudas. Los resultados de los más modernos estudios, estaban llamados á resolver dichos problemas, pero, si han dado una solucion satisfactoria en cuanto al primero, no han podido más que acercarse á la del segundo; pues á consecuencia de ellos admiten ahora los astrónomos una hipótesis que necesita ser confirmada por un penoso cálculo, apoyada sobre hechos repetidos y pruebas más convincentes. La física, más que cualquiera otra ciencia, viene en apoyo de la astronomía para explicar ciertos fenómenos ópticos que, lo mismo que en nuestro globo, se verifican tambien en los astros del cielo. Uno de ellos es la polarizacion de los rayos luminosos, la cual consiste en una descomposicion de la luz, que depende de la reflexion de dichos rayos en un cuerpo opaco. Así sabemos que examinando la luz difusa en el aire atmosférico, se la reconoce polarizada, pero examinando el Sol, que es la fuente de toda luz, no se observa traza alguna de polarizacion. Ahora, aplicando este método de averiguacion á los cometas, se ha reconocido que la luz de la nebulosidad y de la cauda está fuertemente polarizada; y por lo tanto, se deduce que es solo reflejada del Sol: mas el núcleo central no ha presentado fenómeno alguno de polarizacion. De aquí ha nacido que algunos opinen que el núcleo se halla en estado candente, si nó en todos, al ménos en algunos cometas, como por ejemplo, en el de 1680 y de 1843, cuya temperatura halló el cálculo ser muy superior á la de la fusion de los metales más refractarios (1). "Sin embargo, dice el P. Secchi (loc. cit.), si se considera que nuestras nubes tampoco polarizan la luz reflejada por el Sol, no habrá necesidad de recurrir á dicha suposicion para todos los cometas: tanto más cuanto que observando el núcleo con los más fuertes aumentos, éste se resuelve en una nebulosidad sin límites decididos, que se confunde con todo lo demás de la cabellera, al tra-

(1) Para el cometa de 1680 Newton halló que la temperatura del núcleo era de 2.000 veces mayor que la de la fusion del hierro: en el de 1843, cuya distancia al Sol no era más que 0.1439 del radio solar, el calor fué 2.250.000 veces más fuerte del que experimentamos en la Tierra.

vés de la cual, como dijimos antes, pueden verse las estrellas más pequeñas.

291. Por lo que hace á la formacion de las caudas, es preciso advertir que la condicion en que se hallan los cometas, es muy diferente de la de los planetas: en estos rigen sobre todo las leyes de la gravedad y de la cohesion por la que las moléculas están compactas, y por tanto, se hallan en estado sólido, mas siendo constituidos los cometas por una aglomeracion de moléculas tan sutiles, como si fuesen menudísimo polvo en estado de disociacion, su naturaleza es muy diversa de la de los cuerpos líquidos ó gaseosos. Aunque nos sean desconocidas las leyes que rigen en la constitucion física de estos cuerpos, con todo podemos decir que á la influencia del calor solar debe en primer lugar atribuirse el aumento de volúmen, tanto en el cometa, como en esas fajas luminosas que arrastran detrás de sí. He dicho *en primer lugar*, por cuanto los fenómenos que manifiestan esos cuerpos, al acercarse al perihelio, no pueden explicarse sólo por la accion calorífica del Sol. En efecto, todos saben que un cometa mientras se halla lejos del Sol, tiene una forma redonda y toda la nebulosidad está distribuida igualmente al rededor del núcleo; pero acercándose al Sol, aumenta su volúmen, el núcleo se hace excéntrico, empiezan á formarse unos haces luminosos en la parte que mira al Sol, y estos encorvándose por ambos lados, como si delante hallasen resistencia, van á formar la cauda detrás del núcleo: pero desde que pasado el perihelio, empieza á alejarse del Sol, desaparecen los haces luminosos, se contrae de nuevo la cauda, y vuelve el cometa á su forma redonda, hasta que disminuido sensiblemente el diámetro real, se pierde en los espacios. Ahora bien, clara aparece en estos fenómenos la accion del Sol, pero no puede decirse que esta accion se reduzca únicamente á la calorífica, pues aunque el calor solar sea suficiente á segregar las moléculas en el cometa, no puede determinarse en ellas una direccion más bien que otra, si el efecto producido fuera solo un aumento de volúmen al rededor del núcleo, en cuyo caso deberia tan solo aumentar el diámetro de la nebulosidad, subsistiendo en ella la fuerza de la gravedad: más para que dicha nebulosidad, sustrayéndose á la fuerza de gravedad, como realmente se sustrae, se extienda á manera de una faja tan extensa y á una distancia tan grande en la parte opuesta al Sol [1], es necesario admitir otra fuerza diferente en el Sol mismo, de la cual dependa al encontrarse el cometa en el perihelio, la dilatacion de la materia nebulosa en dicha forma. Por lo tanto, siendo esta accion

[1] Se ha observado á veces alguna cauda hácia el lado del Sol, pero á más de ser pequeña, pronto ha desaparecido.

del Sol tan instantánea que algun astrónomo la compara á un soplo emanado del mismo Sol, sin entrar en la discusion de las varias hipótesis que muy distinguidos astrónomos, como Newton, Olbers, Bessel, Kepler, etc. han imaginado para explicar la formacion de las caudas, diremos solamente que la opinion más comun en la actualidad, es admitir en el Sol una fuerza repulsiva momentánea, á semejanza de la que repele y áun apaga una llama entre los dos polos de un imán. "Esta fuerza, sin embargo, no se extenderia á toda la masa indistintamente, dice el P. Secchi á este propósito (1), con la misma intensidad, pues esto produciria enormes perturbaciones en el curso de un cometa", sino que, añade "se manifiesta solo sobre una mínima parte de la masa del cometa, á saber, sobre aquella que está colocada fuera de la accion del núcleo, y en un estado extremo de division: es más bien un estado análogo á un impulso de breve duracion, y comparable más propiamente á una fuerza explosiva, que á una verdadera repulsion permanente; lo que aparece probado por la concentracion de la materia que despues vuelve á verificarse al rededor del núcleo, á lo ménos en su mayor parte. Digo *en su mayor parte*, pues no está demostrado que toda vuelva á él, y el cometa Donati mostraba restos aislados muy sutiles que parecian abandonados en el espacio." Añade además el sábio astrónomo, que "el problema es de una solucion más difícil de lo que se cree comunmente", y por lo tanto, es necesario que teniendo en cuenta los hechos con precision y esmero los analizemos de un modo concienzudo y completo, para poder llegar á conocer la verdad, en cuanto nos sea posible.

§ 4.

Movimiento propio de los cometas.

292. Los antiguos que, aunque imperfectamente, pudieron conocer el curso de los planetas, se hallaban, sin embargo, en completa ignorancia en cuanto á los cometas: generalmente creian que eran cuerpos sublunares y que provenian tal vez de materias inflamables de nuestra atmósfera, aunque Séneca con aquella penetracion de entendimiento que le era propia, los habia clasificado entre los planetas. El primero que por medio de la paralaje demostró no ser los cometas meteoros atmosféricos, sino verdaderos cuerpos celestes que obedecian á sus propias leyes, del mismo modo que los planetas, fué Ticho-Brahé con ocasion de haber observado por un mes entero

[1] Discurso sobre el gran cometa de 1861. Roma 1861.

el cometa aparecido en 1585: pero no pasó más adelante. Kepler, á pesar de las leyes que halló para el movimiento de los planetas, opinó, así como Cassini, que los cometas se movian en línea recta. Más tarde, el célebre Newton demostró que las leyes de los movimientos de los cometas son las mismas que las de los planetas, con la diferencia de que las órbitas de los cometas eran muy alargadas, y por tanto, más bien hipérboles. Borelli, sin embargo, astrónomo italiano, halló que mejor correspondia á las observaciones una órbita parabólica. Toda esta diversidad de opiniones entre astrónomos de tanta nombradía era debida á varias causas, pues á más de que faltaba un número suficiente de observaciones para determinar la órbita, las pocas que podian hacerse, solo eran verificables en un arco muy pequeño de dicha órbita. A esto se añadia que, observado una vez un cometa, y sufriendo éste quizás en su curso notables perturbaciones por la accion de los planetas, debia necesariamente variar de direccion, y de consiguiente no era posible reconocerlo, como sucedió con el de 1770, que fué á parar entre los satélites de Júpiter. Pero despues que la ciencia ha hallado el método para determinar con mayor precision los elementos de la órbita, con solas tres observaciones ha podido demostrar que las órbitas cometarias son elípticas como la de los planetas, pero muy excéntricas. El primero que probó ser elipses las órbitas de los cometas, fué Halley á mitad del siglo pasado. Es preciso advertir que la elipse incluye los mismos elementos que la parábola en el pequeño arco perteneciente al perihelio, y por tanto, como la parábola se considera límite de la elipse, faltará en sus elementos el de la distancia media y el del tiempo periódico [1]. De aquí resulta que bien puede considerarse elíptica una órbita, cuantas veces á los elementos parabólicos observados se añada el tiempo periódico. Esto supuesto emprendió Halley el duro trabajo de calcular los elementos de varios cometas que habian sido observados en épocas remotas, y halló realmente que en algunos de ellos se reproducian insensiblemente los mismos elementos. Así, por

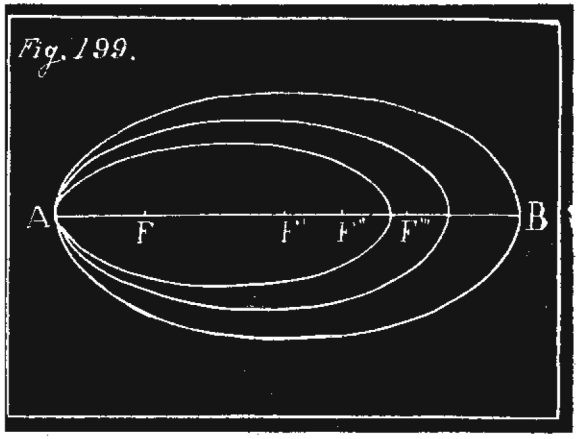
(1) Los elementos de la parábola son los siguientes: 1º inclinacion del plano de la órbita sobre la elíptica: 2º la longitud del nodo ascendente, ó sea, el valor del ángulo que la interseccion del plano de la órbita con la eclíptica, forma con una paralela á la línea de los equinoccios: 3º la longitud del perihelio, ó sea, el ángulo que el plano perpendicular al plano de la eclíptica y que pasa por el eje de la órbita, forma con una paralela á la línea de los equinoccios: 4º la distancia perihelia: 5º la época del paso por el perihelio. Por estos elementos podrá conocerse el sentido del movimiento que puede ser directo ó retrógrado. Para ver como estos elementos parabólicos pueden considerarse pertenecientes á una curva elíptica, constrúyase una elipse

ejemplo, halló que el cometa de 1682 fué el mismo que habia aparecido en 1607, 1531 y 1456. Hé aquí los elementos calculados por el sábio astrónomo en las diferentes apariciones de dicho cometa.

Epoca de la aparicion.	Inclinacion de la órbita á la eclíptica.	Longitud del nodo.	Longitud del perihelio.	Distancia perihelia.	Direccion del movimiento.	Observadores.
1682	17°,42′	50°,48′	301°,36	0.58	Retrógrado.	Hevelius Picardi.
1607	17, 2	50, 21	302, 16	0.58	Retrógrado.	Lahi.
1531	17, 56	49, 23	301, 39	0.57	Retrógrado.	Kepler Longomont.
1456	17, 56	48, 30	301, 00	0.58	Retrógrado.	Apiar.

La identidad de estos elementos, por lo cual reconoció la identi-

cualquiera AB, (fig. 199) cuyos focos sean FF′. Si permaneciendo fijo el foco F, se construye otra elipse que tenga por vértice el mismo punto A de la primera, y cuyos focos sean F y F″, esta segunda elipse contendrá á la primera, será más excéntrica y de consiguiente más alargada. Ahora si se con-



iben así mismo descritas otras elipses cuyos focos sean entre sí más y más distantes FF‴, F^{IV} etc., quedando siempre fijo el primer foco F, y cuyos vértices pasen por el vértice A, entre todas las elipses que puedan construirse, hallaremos finalmente una curva, más allá de la cual no puede pasar e-

dad del cometa, llevó al astrónomo á considerarle como moviéndose al rededor del Sol periódicamente en una elipse muy alargada: por lo tanto, no dudó predecir su vuelta para el año de 1758 ó 1759, como en efecto se verificó. Siendo el periodo de este cometa de 75 á 76 años, puede remontarse hasta los tiempos chinos y se reconocerá no haber nunca dejado de aparecer á la tierra desde el año 11 antes de Jesucristo. Los mismos cálculos se han hecho sobre otros cometas, pero de estos la mayor parte se hallan fuera del sistema solar: por tanto, ó no vuelven más, hallando quizás en los espacios otro cuerpo atrayente que perturbe su órbita, ó si vuelven, tienen un tan largo periodo de años, que á muchas generaciones no es dado poder observar [1]. Hay, empero, otros que pertenecen al sistema solar y vuelven periódicamente despues de cierto número de años, más ménos corto; de éstos vamos á hablar en el párrafo siguiente.

§ 5.

Cometas periódicos.

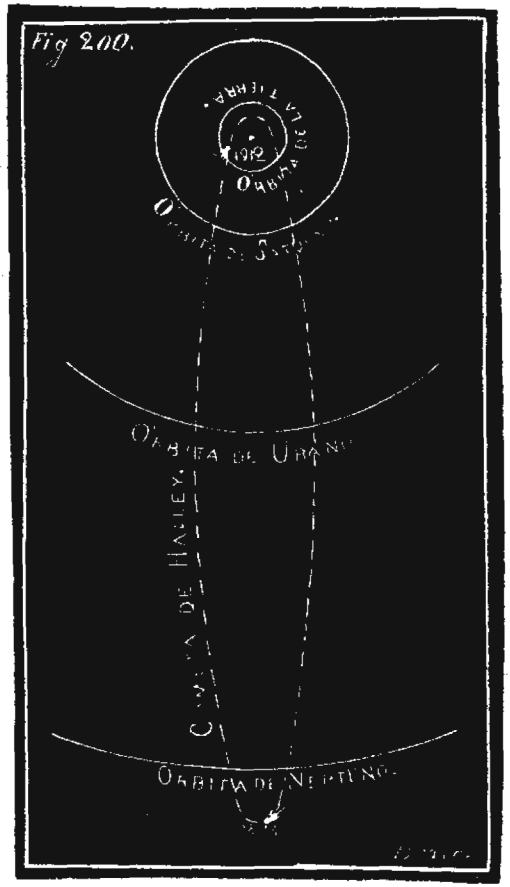
294. Los cometas periódicos pertenecientes al sistema solar conocidos actualmente son cuatro. Entre ellos tiene el primer lugar el cometa de Halley, cuyos elementos hemos dado á conocer. Su órbita se extiende mucho más allá de la órbita de Neptuno, y se acerca al Sol solo $\frac{1}{4}$ del diámetro de la órbita terrestre [fig. 200]. Siendo su periodo de 75 á 76 años deberá aparecer de nuevo en 1912. Este es el mismo cometa de nuestro sistema que puede observarse áun á la simple vista, pues cuando se acerca al perihelio, su enorme cauda abraza en el cielo una extension de más de 60°; los demás no presentan cauda visible, y por tanto, solo son telescópicos.

---

lipse ninguna, pues en este caso el segundo foco F_N quedaria á una distancia infinita. Esta curva límite se llama parábola. Ahora bien, si se observa que el vértice A es comun á todas las elipses, puede en él considerarse un arco que pertenezca al mismo tiempo á la parábola y á una elipse poco distante del límite: por consiguiente, de las posiciones de un cometa sobre ese arco pueden deducirse los elementos, muy aproximadamente comunes á la parábola y á la elipse.

(1) El cometa de 1858 tiene un periodo probable de 2120 años, y el de 1811 de 3000, término aproximado en 100 años poco más ó ménos.

295. Otro cometa periódico es el que lleva el nombre de Enke de de Berlin. Comparando este astrónomo los elementos de un cometa observado en Marsella el 26 de Noviembre de 1819 por M. Pons, con los del que habia aparecido en 1805, reconoció ser el mismo, y por tanto, periódico: se han calculado los elementos de este cometa desde 1786 en que se vió por primera vez. Helos aquí:



Años.	Longitud del perihelio.	Longitud del nodo.	Inclinacion de la órbita á la ecliptica.	Distancia perihelia.	Periodo	Direccion del movimiento.
1786	156°,38	334°, 8	13°,36	0.3348	.....	Directo.
1795	156, 41	334, 39	13, 42	0.3344	.....	,,
1805	156, 47	334, 20	13, 33	0.3404	.....	,,
1819	156, 59	334, 33	13, 37	0.3353	1200^d, cerca	,,
1845	157, 44	334, 20	13, 8	0.3381	1205^d, 23	,,

La órbita de este cometa está contenida en la de Júpiter y para recorrerla emplea 1205 dias, es decir, 3 años y 3 meses. En su afelio dista del sol cuatro veces el radio vector de la tierra, y en el perihelio se acerca al sol $\frac{1}{8}$ del mismo radio. Una circunstancia singular se observa en la órbita de este cometa, á saber, que en cada aparicion los elementos calculados manifiestan una disminucion progresiva en el eje mayor de la elipse y en la distancia media al sol. Así es que acercándose más y más al sol, es probable que al fin caiga en él, ó á lo ménos se desvanezca poco á poco; esto último parece lo más verosímil, por notarse en él una sensible disminucion de luz y falta de núcleo: su aspecto no es más que una especie de nebulosidad poco luminosa.

296. En 1826 el astrónomo Biela en Johannisberg descubrió un comet, el 27 de Febrero, y despues de haber publicado sus observaciones, M. Gambart en Marsella calculó los elementos parabólicos de su órbita, y comparándolos con los de otro cometa que habia sido observado en los años de 1772 y 1805, reconoció inmediatamente su identidad por la identidad de su órbita elíptica. De los cálculos se deduce la particularidad notable de que dicha órbita atraviesa la eclíptica, y en 1832 distaba el cometa de la tierra sólo 20,000 millas. Su corto periodo es de 6 años $\frac{2}{3}$, y en su afelio pasa poco más allá de la órbita de Júpiter. Otro fenómeno singular ha presentado este cometa en una de sus nuevas apariciones. En 1846 se observó una especie de prominencia hácia un lado del núcleo; pasado algun tiempo, y antes que se perdiera de vista, el astrónomo Maury norte-americano vió que éste se habia dividido en dos partes, las cuales, sin embargo, se hallaban unidas por un pequeño arco, á manera de puente, y de una luz muy débil. En la aparicion siguiente que se verificó en 1852 pudieron verse las dos partes bien separadas en el Observatorio del Colegio Romano. Cuál haya sido la causa de la division ó de la ruptura en este cometa, la ciencia lo ignora, desde que todavía puede decirse que está en problema la constitucion física de estos cuerpos. Sin embargo, no parece ser este el primer ejemplo de semejante fenómeno, pues hay memoria de haberse verificado lo mismo en otros cometas; y si la ciencia habia dudado de la realidad del hecho hasta ahora, el cometa de Biela ha venido á comprobarlo. Averiguada la distancia real de los dos núcleos, ó de los dos pedazos del núcleo en 1846, se halló no ser ménos de 230,000 millas, y en la otra aparicion de 1852 llegó á 1.616,000 millas, teniendo lugar la distancia máxima en el paso por el perihelio. En los elementos que damos á continuacion de la órbita del cometa, antes y despues de la division, se vé que entre las dos partes hay una pequeña diferencia, no sólo entre ellas, sino tambien con relacion á los

elementos del cometa antes de la division: parece, pues, que las dos partes siguen más ó ménos una órbita comun, y no muy diferente de la que seguian antes de la division. Hé aquí los elementos:

Elementos.	Antes de la division.	Despues de la division. Parte C.	Despues de la division. Parte D.
Epoca del pasaje por el perihelio.	1846, 11 Feb. 0^h, 2^m, 50^s.	1852, 22 Stbre. 23^h, 35^m, 16^s.	1852, 23 Stbre. 17^h, 58^m, 15^s.
Long. del perihelio.	109°, 5, 47.	108°, 58', 16.	109°, 5', 20".
Longitud del nodo.	245, 56, 58.	245, 53, 29.	245, 49, 34.
Inclinacion.	12, 34, 14.	12, 33, 49.	12, 33, 28.
Eje transverso.	3, 50, 182.	3, 528, 73.	3, 513, 75.
Excentricidad.	0, 755, 471.	0, 756, 118.	0, 755, 20.
Periodo.	23, 93^d, 52.	.....	.....
Movimiento.	Directo.	Directo.	Directo.

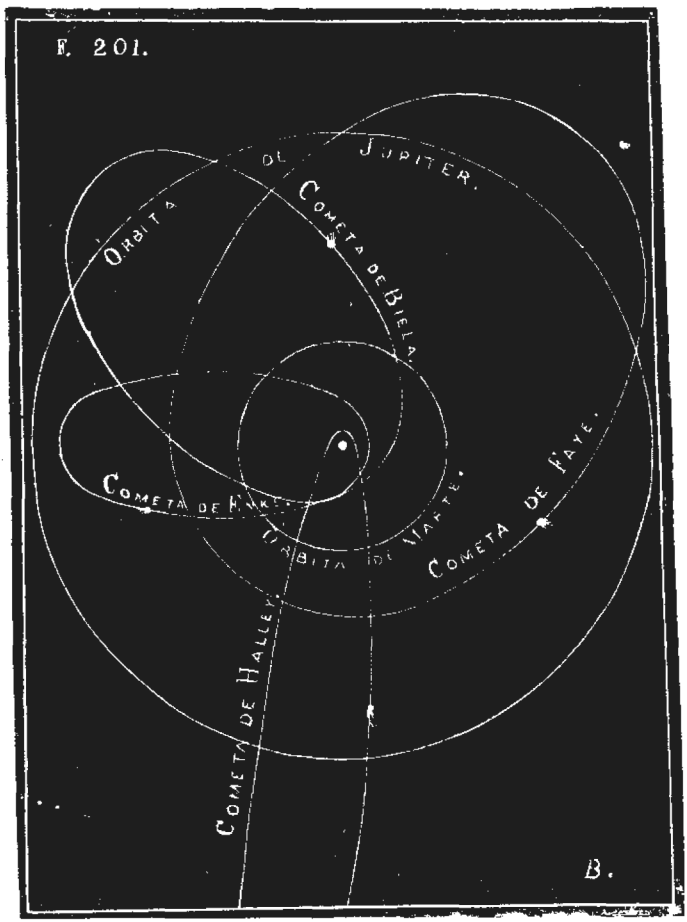
El fenómeno más importante que ha presentado este cometa despues de su division, ha sido su desaparicion. Se esperaba su vuelta en el mes de Octubre de 1872, pero no fué posible verlo. Sin embargo, la Tierra debia atravesar el nodo de su órbita el 27 de Noviembre del mismo año. Pero en ese dia tuvo lugar la célebre lluvia de estrellas fugaces, "cuyas chispas, dice el P. Secchi, en ciertos puntos del cielo eran tan pequeñas y en tan gran multitud, que parecian copos de nieve, ni se las podia mirar sin cierto terror, considerando las consecuencias que habrian podido tener con relacion á nuestra existencia, si la atmósfera no hubiera existido allí para protegernos." Los dos pedazos, pues, del cometa de Biela que por cierto tiempo siguieron su curso en el espacio, se resolvieron al fin en una lluvia de estrellas fugaces.

297. Finalmente, el cuarto cometa periódico del sistema solar es el descubierto por M. Faye el 23 de Noviembre de 1843, pero cuya órbita elíptica fué reconocida y calculada por M. Goldsmitd, discípulo de Gauss. El curso de este cometa es de 7 años y 5 meses, ó más exactamente, $2,718^d$. 25: la excentricidad de su órbita es la más pequeña de las que suelen tener todos los demás cometas, cuyas elipses son muy alargadas. Con todo, ésta tambien se extiende poco más allá de la órbita de Júpiter: la distancia máxima al Sol es casi 6 veces el radio vector de la tierra, y la perihelia mínima es de casi dos veces la distancia de la Tierra al Sol, ó más exactamente = 1.65. Los elementos de la órbita son los siguientes:

Longitud del perihelio.....	49°,34′,19″.
Longitud del nodo.....	209°,29′,19″.
Inclinacion.....	11°,22′,31.
Eje transverso.....	3.81179.
Excentricidad.....	0.55596.
Movimiento.....	Directo.

Epoca del paso por el perihelio 1843, 17 Octubre $3^h,42^m,16^s$.

298. Para la inteligencia de las órbitas de los cometas de que he-



mos hablado, al rededor del Sol, damos la fig. 201, la cual represen-

ta el centro del sistema solar y el curso de los cometas periódicos conocidos.

Otros cometas periódicos han descubierto los astrónomos Brorsen, D'Arresti, De Vico, cuyos elementos han podido calcularse despues de las acostumbradas observaciones, pero por causas, extrañas quizás á los mismos cometas, no han podido ser vistos á su vuelta: el del P. De Vico p. e. que fué descubierto por primera vez en 1844, en la que debia de ser segunda aparicion, la distancia perigea fué mucho mayor que la distancia á que se hallaba el cometa de la tierra, cuando desapareció la primera vez. Posteriormente no se le ha visto más. Por tanto, no se hallan estos cometas menores en el número de los periódicos constantes que forman parte del sistema solar.

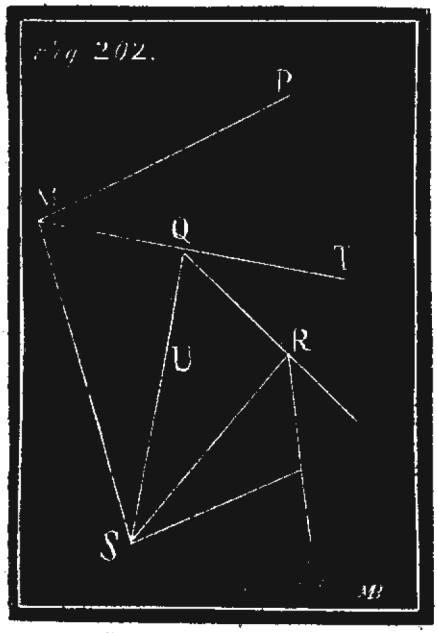
CAPITULO V.

Gravitacion Universal.

§ UNICO.

299. De todo lo que hemos dicho sobre los movimientos de los cuerpos celestes, aparece claro que estos se rigen por ciertas leyes, las cuales tienen por base fundamental las que dedujo Kepler de sus prolongados estudios sobre los movimientos del planeta Marte. Ya desde esa época varios astrónomos y matemáticos sospecharon que habia alguna ley fija, no sólo entre las moléculas de un mismo cuerpo entre sí, sino tambien entre cuerpos de masas diferentes. Kepler, en consecuencia de las leyes de los movimientos celestes, admitió la hipótesis de que, al ménos en nuestro sistema existia en el Sol una fuerza que atraía á los planetas con una intensidad inversamente proporcional á la distancia. El matemático Borelli sostuvo que los planetas, siguiendo *una ley general*, se movían al rededor del Sol, así como los satélites al rededor de los planetas, solicitados por una fuerza tal, que nunca pudieran sustraerse á la influencia del centro de accion. Horke que fué el primero que, por medio de las oscilaciones del péndulo, exploró la intensidad de la gravedad terrestre, propuso tres hipótesis que podrian considerarse como base del sistema, á saber: 1º Que los cuerpos celestes tienden hácia un centro, el cual ejerce una fuerza atractiva, ya sobre sus moléculas, ya sobre los demás cuerpos que se hallan comprendidos en su esfera de accion. 2º Que estos cuerpos moviéndose en virtud de su propia inercia, en los espacios debieran describir una línea recta, pero co-

mo describen una curva, preciso es reconocer que *obedecen* tambien á otra fuerza componente. 3º Que el efecto de esta fuerza deberá ser tanto mayor cuanto más cerca del centro se halle el cuerpo atraido. Posteriormente Bonillaud, suponiendo elípticas las órbitas planetarias, sostuvo, que admitida la atraccion hácia un centro, debia esta disminuir segun el cuadrado de la distancia. Todas estas hipótesis, aunque vagas, iban insensiblemente allanando el camino hácia la fórmula general de atraccion, que al grande ingenio de Newton cupo la suerte de hallar, no solo independientemente de los que le habian precedido, sino tambien siguiendo en su raciocinio un camino muy diferente. Supuesta en un cuerpo una fuerza impulsiva que lo haga moverse en una línea, si recibe un impulso en direccion inclinada á ella, seguirá en su movimiento una resultante determinada por la diagonal del paralelógramo, cuyos lados representen la direccion é intensidad de las dos fuerzas. Apoyado en este principio tan sencillo, demostró hasta la evidencia que si la fuerza es central y contínua, un cuerpo cualquiera que describiera una línea recta en virtud de una impulsion primitiva, describirá una curva, la cual en caso de variar la fuerza en razon inversa del cuadrado de la distancia al foco, será una elipse ú otra seccion cónica. En efecto: sea un centro S que obra sobre el cuerpo M (fig. 202) en un instante dado en el sentido MS. Puesto que el cuerpo se halla impulsado por una fuerza primitiva hácia P, teniendo que obedecer á esta segunda fuerza, se desviará de su camino, describiendo la diagonal MQ del paralelógramo construido sobre dichas fuerzas. Si en el punto Q cesara la fuerza MS, el cuerpo en virtud de su inercia seguiria la direccion MT determinada por la impulsion primitiva, á la cual solo obedeceria en este caso. Pero supongamos que en dicho punto Q vuel-



va el centro S á obrar sobre el cuerpo; la accion del centro será representada entonces por la fuerza QS con una intensidad que podemos suponer igual QU: en este caso se hallará de nuevo el cuerpo solicitado por las dos fuerzas QT, QU, y la resultante QR representará el efecto producido por ellas sobre el cuerpo M. Si se repiten á cada instante nuevas impulsiones sobre el cuerpo por la accion del centro, claro está que variará tambien á cada instante en la direccion y en la intensidad de la velocidad, segun que vaya aumentando la accion del centro, y por lo tanto, el cuerpo describirá un polígono é irá acercándose al centro ó alejándose de él en proporcion á la mayor ó menor fuerza con que este obra. Todo este raciocinio supone instantánea la accion del centro; mas si la suponemos contínua, los lados del polígono serán infinitamente pequeños, y por lo tanto, llegará el cuerpo á describir el perímetro, límite del polígono, que es una línea curva; en cuyo caso se verificarán sin modificacion alguna las mismas condiciones de la proporcionalidad de las áreas á los tiempos empleados en recorrerlas, que es la misma ley que rige la accion instantánea (1). Aplicando ahora este teorema á los cuerpos celestes, como los planetas describen una curva al rededor del sol, es necesario admitir no solo que la fuerza á que están sometidos existe en el sol, sino tambien que en virtud de la segunda ley de Kepler debe esta ser dirigida constantemente segun la línea recta que une el planeta al sol.

300. Esto supuesto, no será difícil probar que dicha fuerza está en razon inversa del cuadrado de la distancia. En efecto, por la mecánica sabemos que en todo movimiento circular, existiendo en el centro del círculo el centro de accion, la fuerza acceleratriz está en razon directa del radio, é inversa del cuadrado del tiempo empleado por el móvil en recorrer toda la circunferencia; de modo que su expresion es $\varphi = \frac{4\pi^2 R.}{T^2}$ Aplicando dicha fórmula á los planetas, cuyas órbitas, por el movimiento, podemos suponer circulares, será representada la fuerza acceleratriz por $\varphi = \frac{4\pi^2 R,}{T^2}, \varphi' = \frac{4\pi^2 R'}{T'^2}$ etc. dividiendo, tendremos $\frac{\varphi}{\varphi'} = \frac{R'}{T^2} : \frac{R'}{T'^2}$ ó sea $\frac{\varphi}{\varphi'} = \frac{RT'^2}{R'T^2}$: ahora bien, por la tercera ley de Kepler tenemos $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{R^3}{R'^3}$ luego sustituyendo

[1] Véase el cap. I § 3º del Libro III la demostracion en la nota, pág. 111.

será $\frac{\varphi}{\varphi'} = \frac{R.R'^3}{R'R^3} = \frac{R'^2}{R^2}$, es decir, que la fuerza está en razon inversa del cuadrado del radio, ó sea, de la distancia.

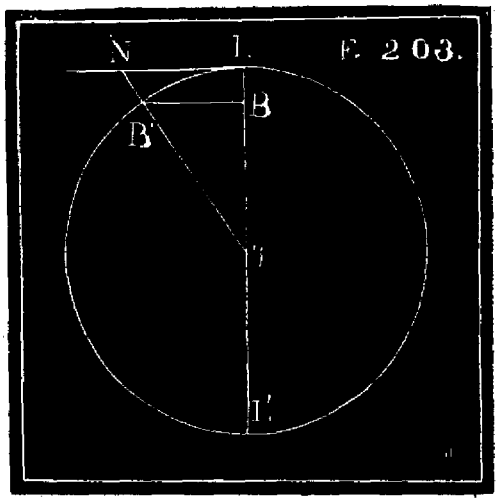
301. Mas puesto que las órbitas de los planetas son elípticas, el radio será variable; pero en este caso, como el radio vector describe las áreas proporcionales á los tiempos, la fuerza que solicita al planeta se dirigirá siempre hácia el Sol, y ocupando el Sol el foco de la elipse, esta fuerza variará tambien segun el cuadrado de la distancia del planeta al Sol. Por medio de este raciocinio llegó Newton al descubrimiento de la ley fundamental que rige los movimientos de los cuerpos celestes; pero su perspicaz ingenio no estaba todavía satisfecho: queria hallar el modo de comprobarla. Un dia mientras estaba descansando en su jardin, una bellota le cayó casualmente sobre la cabeza: esto fué suficiente para que le diera motivo á reflexionar si la luna podria del mismo modo caer sobre la tierra, como un cuerpo cualquiera que obedece á la ley de la gravedad terrestre, ó en otros términos, si la fuerza que detiene á la luna en su órbita seria de la misma naturaleza de aquella, por la cual los cuerpos caen sobre la superficie. Comparando pues las leyes de la caida de los cuerpos con las que rigen los movimientos de la Luna, halló que la accion terrestre sobre la Luna no era más que la misma gravedad terrestre disminuida en razon inversa del cuadrado de la distancia, es decir, segun la ley que habia hallado. En efecto, tratemos de averiguar la relacion de la velocidad adquirida en un segundo de tiempo por un cuerpo que cae en la superficie de la tierra, con la que tendria otro cuerpo á la distancia lunar, en el caso de disminuir la fuerza segun el cuadrado de la distancia. Sabemos que la velocidad adquirida por un cuerpo que abandonado á sí mismo, cae sobre la superficie terrestre al cabo de un segundo, está expresada por el espacio que recorreria con movimiento uniforme cesando al mismo tiempo la accion de la gravedad, es decir, $9^m,8088$. Si ahora suponemos un cuerpo que caiga á la distancia lunar, admitida la ley del cuadrado de la distancia, para tener la expresion de la velocidad adquirida por dicho cuerpo al cabo de un segundo, bastará dividir $9^m,8088$ por el cuadrado de 60 que es 3600, siendo la distancia igual á 60 radios terrestres, el cociente 0.002724 será la expresion buscada. Comparemos esta velocidad con la que en realidad tiene la Luna al cabo de un segundo. Para esto sea T la Tierra [fig. 203] LB'L' la órbita lunar; sea LB' el arco descrito por la Luna en un segundo: la fuerza que solicita á la Luna hácia la Tierra está representada por NB' que por la pequeñez del arco, viene á ser igual á LB. Ahora bien; por la mecánica sabemos que

$\frac{LB}{LB'} = \frac{LB'}{LB'}$: de aquí resulta que $LB = \frac{LB'^2}{2R}$. Siendo LB′ la velocidad de la Luna en un segundo, la fuerza que obra sobre la unidad de su masa, segun la ley de la caida de los cuerpos, será medida por el doble de LB, ó sea por $\frac{LB'^2}{R}$. Para hallar el valor de LB′, formaremos el siguiente raciocinio: la circunferencia de la tierra es de 40.000.000 de metros: la circunferencia de la órbita lunar será 60 veces más grande, ó más exactamente,

$$= 2\pi \times 60 \times 6.366.778,^{m}5 = 2.399.002.138^{m},8,$$

dividiendo esta cantidad por 2.360.448″, que son los segundos contenidos en una revolucion sideral (=27°,321,661), tendremos en metros el espacio recorrido en un segundo por la Luna, á saber, 1.016^{m}08: por lo tanto será

$LB' = \frac{1.016^{m},08^2}{6.336.778.5 \times 60} = \frac{1.032.418.5664}{382.006.710} = 0.002702$. Este último número expresa la velocidad adquirida por la Luna al cabo de un segundo en virtud de la atraccion terrestre. Ahora bien, esta expresion bien poco difiere de la que hemos hallado más arriba para un cuerpo cualquiera, que obedezca á la gravedad terrestre desde la distancia lunar: por tanto, despreciando la pequeña diferencia que existe entre los números 0.002724 y 0.002702, debida á las pequeñas perturbaciones de los movimientos de la Luna y de la Tierra, aparece claro que la fuerza atractiva de la tierra sobre la Luna, sigue la ley de la razon inversa del cuadrado de la distancia.



F. 203.

302. Ahora bien, puesto que la gravedad terrestre obra en razon directa de la masa de un cuerpo, se infiere justamente que la fuerza atractiva de los cuerpos celestes es tambien proporcional á la masa

atraida; de modo que, si C expresa el coeficiente de la atraccion de la unidad de masa en la unidad de tiempo, esta fuerza será expresada por $\varphi = \frac{mC}{r^2}$. De esto se deduce que ó las masas de los diversos planetas son todas iguales, ó no es exacta la 3ª ley de Kepler. Mas como sabemos que las masas de los planetas son desiguales, siendo, por otra parte muy pequeñas con relacion á la inmensa masa del sol, la tercera ley de Kepler en realidad no es más que aproximada.

303. Que esta ley de atraccion sea una propiedad inherente á toda la materia que existe en el universo, y no solo perteneciente á los cuerpos celestes, por lo cual se le dá el nombre de *Gravitacion universal*, lo prueba una multitud de hechos, que la ciencia no puede menos de admitir como consecuencia necesaria de dicha atraccion. Así, la atraccion de dos balas de plomo de diferente diámetro, la desviacion de la plomada por la cercanía de las grandes masas de las montañas, el fenómeno de las mareas, de la precesion de los equinoccios, y la nutacion del eje terrestre no pueden explicarse, sin apoyarse en el principio de esta ley. Además, no solo considerando nuestro sistema observaremos que los satélites de Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno, la Luna con respecto á la Tierra obedecen á las mismas leyes que rigen los planetas primarios con relacion al sol, sino que tambien examinando fuera de dicho sistema los movimientos de las estrellas dobles, triples etc., no podemos menos de reconocer en conjunto la existencia de este principio. Las mismas perturbaciones que se observan en los movimentos de los cuerpos celestes, no solo son una consecuencia necesaria de este hecho, sino que han dado motivo á la prueba más irrefragable de su existencia con el descubrimiento del planeta Neptuno, hecho únicamente por medio del cálculo, fundado en la fórmula de la ley universal, hallada por el inmortal génio de Newton.

304. Aunque esto se nos manifiesta tan claramente que negarlo seria admitir el absurdo más grande en la ciencia, ¿podemos sin embargo, decir que esta fuerza es un principio activo en la materia? ¿O podriamos explicar en qué consiste esta fuerza? Preciso es decirlo: si el entendimiento humano puede discurrir sobre los hechos y las observaciones, si de los efectos puede remontarse á la existencia de una causa que los produce, con todo está muy lejos de penetrar en el fondo de la naturaleza íntima de esa misma causa, que solo puede conocer aquella Mente infinita que en su omnipotencia, con un simple acto de su voluntad, crió la materia y determinó sus leyes. Por tanto, debemos contentarnos con poseer y perfeccionar por medio de la observacion y el raciocinio, todo aquello

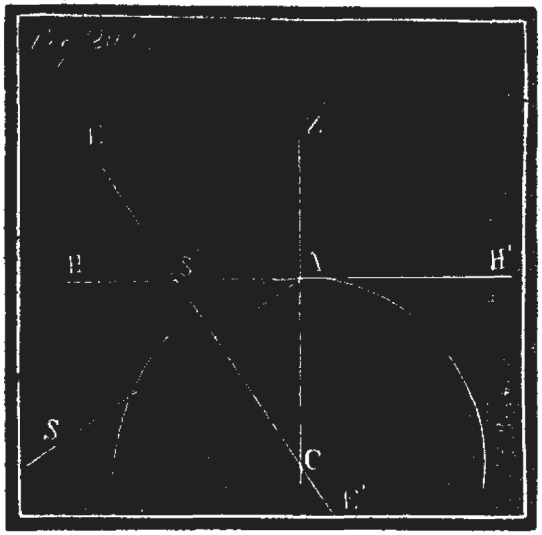
que podemos alcanzar sin pretender penetrar más allá de lo que el Criador permite á nuestro entendimiento limitado.

Para satisfacer el deseo de aquellos que, gustando de esta especie de estudios, quisieran tener conocimientos más extensos, é investigar por sí mismos algunos de los resultados que se deducen de los principios expuestos en el texto, he querido añadir algunas notas en forma de problemas, los cuales, aunque por sí no sean del dominio de la Cosmografía, sin embargo exponiéndolos de un modo fácil y llano, sin dejar de ser como un complemento de dicho estudio, serán de una utilidad no pequeña á los eclesiásticos especialmente á quienes importa no poco tener ciertos conocimientos sobre la materia como la division del tiempo, que por ley eclesiástica, se halla íntimamente ligada con la observancia de ciertos preceptos, y la confeccion del directorio del oficio divino, en cuya formacion tiene tanta parte la Cosmografía.

Nota A.

Averiguar la hora de la salida del sol y la duracion del crepúsculo.

Dijimos que el crepúsculo empieza ó acaba, cuando el sol se halla á 18° bajo del horizonte, cuyos grados hay que contar sobre el círculo de altura; ahora bien; sea (fig. 204) la posicion del sol á 18° bajo del horizonte, la distancia zenital será expresada por la fórmula general: $\cos. Z = \text{sen.}\ \lambda.\ \text{sen.}\ D + \cos.\ \lambda.\ \cos. D \cos. h$, siendo λ la latitud del lugar D la declinacion del sol, h el arco semidiurno. Para averiguar el valor del arco h en su movimiento diurno, será preciso fijar el valor de la variable Z. Para esto sabemos que hallándose el sol á 18° debajo del horizonte $Z = 90° + 18° = 108°$, y que habiendo descrito el arco SS′ en un tiempo determinado que representa la duracion del crepúsculo, será $Z = 90°$,



hallándose el sol en el horizonte. En este último caso, la fórmula se convertirá en cos. $h = -$cotg. λ. cotg. D $=-$ tg. λ. tg. D, y en el primero será cos. $h = \frac{\text{cos. } Z}{\text{cos. } \lambda \text{. cos. D}} -$ tg. λ. tg. D.

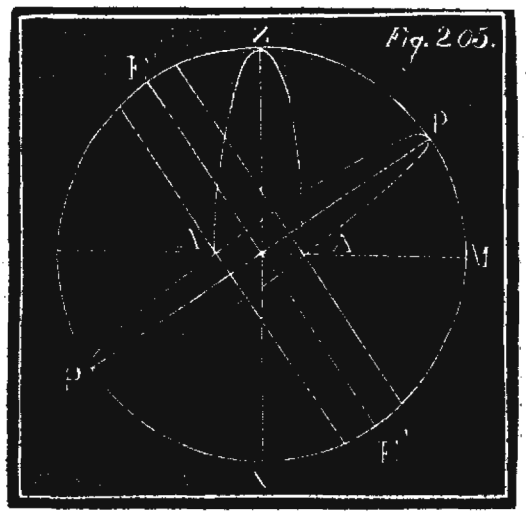
Por lo tanto habiendo calculado el valor — cotg. λ. cotg. D, para la salida del sol, se hallará la duracion del crepúsculo por la otra

$$\text{cos. } h = \frac{\text{sen. } 18^\circ}{\text{cos. } \lambda \text{. cos. D}}.$$

Es de advertir que el valor de h es variable; pues puede ser $h > 90^\circ$, $h < 90^\circ$, $h = 90^\circ$. Si $h = 90^\circ$, el arco semidiurno del dia será exactamente de 6^h, y el sol se hallará en el mismo ecuador. Si $h > 90^\circ$, dicho arco será mayor de 6^h, pues el paralelo del sol se halla entre el ecuador y el polo del hemisferio en que está el observador. Si finalmente $h < 90^\circ$, el arco semidiurno del dia será menor de 6^h, hallándose el sol entre el ecuador y el polo del hemisferio opuesto. Por lo tanto, si $h = 180^\circ$—PA [fig. 205], tendremos

$$\text{cos. P} = - \text{ cot. PZ. cot. PA}$$
$$\text{ó sea, cos. } h = - \text{ cot. } \lambda \text{. cot. D}$$
$$\text{y cos. P}' = + \text{ cot. PZ. cot. PA,}$$
$$\text{ó sea, cos. } h' = + \text{ cot. } \lambda \text{. cot. D.}$$

Teniendo, pues, cos. h y cos. h' el mismo valor numérico con signo contrario, los dos ángulos serán complemento el uno del otro: de consiguiente, cuando las declinaciones del sol son iguales, pero de signo contrario, lo que se verifica en dos estaciones distantes entre sí seis meses, el arco diurno de una estacion es igual al arco nocturno de la otra y los arcos diurnos y nocturnos de las dos estaciones son complementarios entre sí.



Trátese ahora de hallar la hora de la salida del sol el 21 de Diciembre para una latitud $= -36^\circ,49'$, tendremos:

$$\log.\cos.h = \log. - \cot.36^\circ,49' + \log.\cot.23^\circ,38':$$

$$\log. - \cot.36^\circ,49' = 0.12577.96$$

$$\log. \quad \cot.23^\circ,28' = 0.36238.94$$

$$\text{Compl. cos. } h = 9.51183.10$$

$$h = -18^\circ,57',48'' \mid 15$$

$$-1^h,15.51$$

luego el sol estará en el horizonte del lugar á las $4^h,44',9''$ de la mañana en tiempo verdadero. Pues tenemos $6^h - 1^h,15^m,51'', = 4,^h44^m,9^s$. En 21 de Junio será $h = +18^\circ,57',48' \mid 15$

$$+1,^h15',51'':$$

por la tarde se hallará el sol en el horizonte á las $7^h,15',51''$.

Si se quiere calcular la duracion de la aurora, será:

$$\log.\text{sen. } 18^\circ = 9.48998.24$$

$$-\log.\cos.36^\circ,49 = 9.90339.23$$

$$9.58659.01$$

$$\times \log.\cos.23^\circ,28 = 9.96250.76$$

$$\log.\cos.h_1 = 9.54909.77$$

$$\text{luego } h = 20^\circ,44',12'' \mid 15$$

$$1^h,23,00,$$

de manera que el principio del crepúsculo será á las $3^h,04^m$ de la mañana.

Nota B.

Hallar el dia de la Pascua por el Calendario eclesiástico y la letra Dominical.

Hemos indicado en el § 9 del Cap. I. Lib. III un método seguro para hallar la fecha del dia de la Pascua en un año cualquiera; sin embargo, podemos llegar al mismo resultado por otro método, cuya exposicion no será inútil en este lugar. Sabemos que la Iglesia celebra la Pascua de Resureccion el domingo que sigue al plenilunio despues del 21 de Marzo. Ahora bien: para hallar la Pascua será preciso; 1º conocer en qué dia se verifica el plenilunio, y 2º en qué fecha del mes cae el Domingo que sigue á dicho plenilunio. El cálculo para hallar el dia del plenilunio, despues de lo dicho tratando de la epacta, es muy sencillo, pues conocida la epacta del año que es la misma del 1º Marzo, bastará añadir 15 dias al complemento del mes lunar que dá el novilunio, para tener el dia de la Luna llena. Así por ejemplo, si la epacta es XXIII, tendrémos 7+15=22, luego el 22 de Marzo será el plenilunio; si la epacta es IV, será 26+15=41 de Marzo, ó sea, 10 de Abril. Podrá tambien hallarse más prontamente por medio del Calendario eclesiástico. Para esto es preciso advertir que en este Calendario se hallan las epactas al lado de los dias del mes en órden inverso, de modo que la misma

epacta del año indica el dia del novilunio. La razon de esto es manifiesta: pues dada una epacta cualquiera, por ejemplo, XVIII, se sabe que para la Luna nueva quedan todavía doce dias. Ahora, como las epactas se hallan en órden inverso al de los dias, puesto que el dia 30 pertenece al 1º de Enero (y por lo tanto, al 1º de Marzo), tambien hallaremos la epacta XVIII que indica el novilunio para el dia 13, si contamos XII epactas en órden retrógrado, ó sea, segun el órden de los dias. Esto supuesto, si desde este dia se cuentan los 15 que hemos dicho, veremos que el plenilunio caerá el dia 28.

Véase en seguida la tabla del Calendario eclesiástico, y por ella podrá hallarse el novilunio de cada mes, conocida la epacta del año.

DIAS.	Enero.		Febrero.		Marzo.		Abril.		Mayo.		Junio.	
	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.
1	*	A	29	d	*	d	29	g	28	b	27	e
2	29	b	28	e	29	e	28	A	27	c	26	f
3	28	c	27	f	28	f	27	b	26	d	25, 24	g
4	27	d	26	g	27	g	26	c	25	e	23	A
5	26	e	25, 24	A	26	A	25, 24	d	24	f	22	b
6	25	f	23	b	25	b	23	e	23	g	21	c
7	24	g	22	c	24	c	22	f	22	A	20	d
8	23	A	21	d	23	d	21	g	21	b	19	e
9	22	b	20	e	22	e	20	A	20	c	18	f
10	21	c	19	f	21	f	19	b	19	d	17	g
11	20	d	18	g	20	g	18	c	18	e	16	A
12	29	e	17	A	19	A	17	d	17	f	15	b
13	18	f	16	b	18	b	16	e	16	g	14	c
14	17	g	15	c	17	c	15	f	15	A	13	d
15	16	A	14	d	16	d	14	g	14	b	12	e
16	15	b	13	e	15	e	13	A	13	c	11	f
17	14	c	12	f	14	f	12	b	12	d	10	g
18	13	d	11	g	13	g	11	c	11	e	9	A
19	12	e	10	A	12	A	10	d	10	f	8	b
20	11	f	9	b	11	b	9	e	9	g	7	c
21	10	g	8	c	10	c	8	f	8	A	6	d
22	9	A	7	d	9	d	7	g	7	b	5	e
23	8	b	6	e	8	e	6	A	6	c	4	f
24	7	c	5	f	7	f	5	b	5	d	3	g
25	6	d	4	g	6	g	4	c	4	e	2	A
26	5	e	3	A	5	A	3	d	3	f	1	b
27	4	f	2	b	4	b	2	e	2	g	*	c
28	3	g	1	c	3	c	1	f	1	A	29	d
29	2	A			2	d	*	g	*	b	28	e
30	1	b			1	e	29	A	29	c	27	f
31	*	c			*	f			28	d		

DIAS.	Julio.		Agosto.		Setiem.		Octubre.		Novbre.		Dicbre.	
	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.	Epacta.	Let. Dom.
1	26	g	25, 24	c	23	f	22	A	21	d	20	f
2	25	A	23	d	22	g	21	b	20	e	19	g
3	24	b	22	e	21	A	20	c	19	f	18	A
4	23	c	21	f	20	b	19	d	18	g	17	b
5	22	d	20	g	19	c	18	e	17	A	16	c
6	21	e	19	A	18	d	17	f	16	b	15	d
7	20	f	18	b	17	e	16	g	15	c	14	e
8	19	g	17	c	16	f	15	A	14	d	13	f
9	18	A	16	d	15	g	14	b	13	e	12	g
10	17	b	15	e	14	A	13	c	12	f	11	A
11	16	c	14	f	13	b	12	d	11	g	10	b
12	15	d	13	g	12	c	11	e	10	A	9	c
13	14	e	12	A	11	d	10	f	9	b	8	d
14	13	f	11	b	10	e	9	g	8	c	7	e
15	12	g	10	c	9	f	8	A	7	d	6	f
16	11	A	9	d	8	g	7	b	6	e	5	g
17	10	b	8	e	7	A	6	c	5	f	4	A
18	9	c	7	f	6	b	5	d	4	g	3	b
19	8	d	6	g	5	c	4	e	3	A	2	c
20	7	e	5	A	4	d	3	f	2	b	1	d
21	6	f	4	b	3	e	2	g	1	c	*	e
22	5	g	3	c	2	f	1	A	*	d	29	f
23	4	A	2	d	1	g	*	b	29	e	28	g
24	3	b	1	e	*	A	29	c	28	f	27	A
25	2	c	*	f	29	b	28	d	27	g	26	b
26	1	d	29	g	28	c	27	e	26	A	25	c
27	*	e	28	A	27	d	26	f	25, 24	b	24	d
28	29	f	27	b	26	e	25	g	23	c	23	e
29	28	g	26	c	25, 24	f	24	A	22	d	22	f
30	27	A	25	d	23	g	23	b	21	e	21	g
31	26	b	24	e			22	c			20	A

Es de advertir que en este Calendario las epactas sirven para calcular las Lunas *medias*, pues se cuentan los meses lunares de 29 y 30 dias alternativamente, mientras que las lunaciones astronómicas siguen la ley de la revolucion sinódica, que, como hemos visto, no se cumple en un número exacto de dias. De aquí nace que á veces se halla la diferencia de uno ó dos dias entre los de la Luna media y la edad de la Luna verdadera. En vista, pues, de esta alternativa de 29 y 30 dias de la Luna eclesiástica, se ponen en el calendario de dos en dos meses lunares, dos epactas en el mismo dia; y son XV y XIV, que se hallan en 5 de Febrero, 5 de Abril, 3 de Junio, 1º de Agosto, 29 de Setiembre y 27 de Noviembre.

Hallado el dia del plenilunio, es preciso conocer en cuál de los dias siguientes cae el primer domingo: para esto sirve la letra dominical que al lado de las epactas lleva el calendario eclesiástico. Dos años seguidos no empiezan nunca por el mismo dia de la semana; por tanto, para expresar la relacion entre los dias del mes y los de la semana, se ha convenido en valerse de algun signo algebráico. Sabemos que la semana consta de siete dias, volviendo siempre el mismo periodo en el curso de un año. Ahora bien, si los siete primeros dias del año se representan por las letras A, B, C, D, E, F, G, cada una de estas letras pertenecerá siempre á un mismo dia de la semana en el curso de un año. Así, por ejemplo, si el 1º de Enero cae en Mártes tendrémos.

Enero 1º	Mártes	A	5	Sábado	E.
2	Miércoles	B	6	Domingo	F.
3	Juéves	C	7	Lúnes	G.
4	Viérnes	D	8	Mártes	A.

De este modo habrá una letra que indicará en cuál de los primeros siete dias del año cae el domingo: dicha letra se llama *letra dominical.* Estando, pues, expresada en el calendario eclesiástico las siete letras para todos los dias del año, una vez conocida la letra dominical, podrá fácilmente hallarse el dia en que cae el domingo despues del plenilunio que sigue al 21 de Marzo.

Para hallar la letra dominical de un año cualquiera se han propuesto varios métodos. Lalande propone una fórmula para cada siglo, pero es algo difícil retenerla. Más oportuno me ha parecido exponer el método de Delambre por su sencillez y facilidad, y por reducirse á una sola fórmula general. Cualquiera que tenga nocion del cálculo algebráico puede fácilmente entenderlo.

Sea L el número de la letra dominical para un año cualquiera. el número del año siguiente será L—1, y despues de un número a de años será L—a; pero como el valor máximo de L es =7, acontece que despues de los siete primeros años el valor de a es > L. Para que pueda efectuarse la sustraccion, añádase un múltiplo cualquiera de 7, ó sea 7_n, y la fórmula será entonces (7_n+L—a). Ahora el año 0 (cero) L=3, y para tener por principio de la numeracion á dicho año, la fórmula se convierte entonces en esta otra (7_n+3—a) pero cada cuatro años hay uno bisiesto, y la intercalacion hace retroceder la letra una unidad; luego es necesario añadir dicha correccion, y por lo tanto, la fórmula se expresará por [7_n+3—a—$\frac{1}{4}$ a]; $\frac{1}{4}$ a es siempre un número entero, y si dá fracciones se desprecian en el cálculo. Esta fórmula es justa tratándose del calendario julia-

no y puede servir desde el año 0 hasta 1582: mas á causa de la reforma Gregoriana habrá que añadir las cantidades por las cuales se diferencia el Calendario Gregoriano del Juliano: á saber, los diez dias que se sustrajeron del mes de Octubre el año de la reforma 1582 y á más los tres dias que no se intercalan en los años seculares cada cuatro siglos: dicha correccion está expresada por

$$C=10+\tfrac{3}{4}\,[S-16]=10+[S-16]-\tfrac{1}{4}\,[S-16]$$

en la cual S expresa el número de un siglo cualquiera posterior al siglo XVI, de este modo la fórmula general reducida será:

$$7_n+6-a-\tfrac{1}{4}\,a+[S-16]-\tfrac{1}{4}\,[S-16]$$

Aplicando la fórmula á un año cualquiera (1), tendrémos en el calendario Juliano para el año 1244,

$$7_n+3-a-\tfrac{1}{4}\,a,$$

$$7_n+3-1244-311=7_n+3-1555=7_n-7\times 221-5=7-5=2=B.$$

luego la letra dominical en el año 1244 fué B, que cayó en 2 de Enero. Como sabemos que dicho año fué bisiesto, dicha letra no pudo servir, sino despues de la intercalacion, y por lo tanto, desde Marzo hasta Diciembre: ántes de la intercalacion la letra dominical debia ser C, y así en ese año hubo dos letras C. B.

En el Calendario Gregoriano tendremos para el año de 1888:

$$7_n+6-1888-472+[18-16]-\tfrac{1}{4}[18-16]=$$

$$=7_n+6-2360+2-0=7_n-2352=7_n-7\times 336=0,\ 6 \text{ sea A.}$$

luego la letra dominical para el año de 1888 será A, y el domingo caerá el 1º de Enero; pero siendo el año bisiesto tendrá tambien la letra G.

Para abreviar el cálculo, podrán ser muy útiles las siguientes tablas, que conocido el número áureo dán la epacta, la letra dominical y el dia de Páscua.

---

(1) La reduccion de la fórmula tiene por base el considerar el año de 1582 como principio de la enumeracion en que L=6 así, como para el principio del periodo Juliano L=3.

TABLA II.

Hallar la epacta por medio del áureo número.

Áureo número.	1, 2, 3, 4, 5,	6, 7, 8, 9, 10,	11, 12, 13, 14, 15,	16, 17, 18, 19, 1.
1,500 antes de la reforma.	29, 11, 22, 3, 14,	25, 6, 17, 28, 9,	20, 1, 12, 23, 4,	15, 26, 7, 18, 29.
1,500 despues de la reforma. 1,600	1, 12, 23, 4, 15,	26, 7, 18, 29, 10,	21, 2, 13, 24, 5,	16, 27, 8, 19, 1.
1,700 á 1,800	*, 11, 22, 3, 14,	25, 6, 17, 28, 9,	20, 1, 12, 23, 4,	15, 26, 7, 18, *
1,900 á 2,100	29, 10, 21, 2, 13,	24, 5, 16, 27, 8,	19, *, 11, 22, 3,	14, 25, 6, 17, 29.

Explicacion.—Siendo 11 el áureo número de 1753, bastará encontrar dicho número en la primera columna horizontal, y bajando verticalmente hasta llegar á la columna perteneciente al siglo de 1700, hallaremos que la epacta correspondiente es 20.

TABLA III.

Hallar el dia de Pascua por la epacta y la letra dominical.

EPACTA.	LETRA DOMINICAL.						
	D.	E.	F.	G.	A.	B.	C.
23	22 Mar.	23 Mar.	24 Mar.	25 Mar.	26 Mar.	27 Mar.	28 Mar.
22	29 ,,	23 ,,	24 ,,	25 ,,	26 ,,	27 ,,	28 ,,
21	29 ,,	30 ,,	24 ,,	25 ,,	26 ,,	27 ,,	28 ,,
20	29 ,,	30 ,,	31 ,,	25 ,,	26 ,,	27 ,,	28 ,,
19	29 ,,	30 ,,	31 ,,	1 Abril	26 ,,	27 ,,	28 ,,
18	29 ,,	30 ,,	31 ,,	1 ,,	2 Abril	27 ,,	28 ,,
17	29 ,,	30 ,,	31 ,,	1 ,,	2 ,,	3 Abril	28 ,,
16	29 ,,	30 ,,	31 ,,	1 ,,	2 ,,	3 ,,	4 Abril
15	5 Abril	30 ,,	31 ,,	1 ,,	2 ,,	3 ,,	4 ,,
14	5 ,,	6 Abril	31 ,,	1 ,,	2 ,,	3 ,,	4 ,,
13	5 ,,	6 ,,	7 Abril	1 ,,	2 ,,	3 ,,	4 ,,
12	5 ,,	6 ,,	7 ,,	8 ,,	2 ,,	3 ,,	4 ,,
11	5 ,,	6 ,,	7 ,,	8 ,,	9 ,,	3 ,,	4 ,,
10	5 ,,	6 ,,	7 ,,	8 ,,	9 ,,	10 ,,	4 ,,
9	5 ,,	6 ,,	7 ,,	8 ,,	9 ,,	10 ,,	11 ,,
8	12 ,,	6 ,,	7 ,,	8 ,,	9 ,,	10 ,,	11 ,,
7	12 ,,	13 ,,	7 ,,	8 ,,	9 ,,	10 ,,	11 ,,
6	12 ,,	13 ,,	14 ,,	8 ,,	9 ,,	10 ,,	11 ,,
5	12 ,,	13 ,,	14 ,,	15 ,,	9 ,,	10 ,,	11 ,,
4	12 ,,	13 ,,	14 ,,	15 ,,	16 ,,	10 ,,	11 ,,
3	12 ,,	13 ,,	14 ,,	15 ,,	16 ,,	17 ,,	11 ,,
2	12 ,,	13 ,,	14 ,,	15 ,,	16 ,,	17 ,,	18 ,,
1	19 ,,	13 ,,	14 ,,	15 ,,	16 ,,	17 ,,	18 ,,
*	19 ,,	20 ,,	14 ,,	15 ,,	16 ,,	17 ,,	18 ,,
29	19 ,,	20 ,,	21 ,,	15 ,,	16 ,,	17 ,,	18 ,,
28	19 ,,	20 ,,	21 ,,	22 ,,	16 ,,	17 ,,	18 ,,
27	19 ,,	20 ,,	21 ,,	22 ,,	23 ,,	17 ,,	18 ,,
26	19 ,,	20 ,,	21 ,,	22 ,,	23 ,,	24 ,,	18 ,,
25	19 ,,	20 ,,	21 ,,	22 ,,	23 ,,	24 ,,	25 ,,
24	19 ,,	20 ,,	21 ,,	22 ,,	23 ,,	24 ,,	25 ,,

PROBLEMA 1º *Hallar el dia de Pascua para el año de* 1888.

La epacta de dicho año es XVII, la letra dominical que hemos hallado es A y G, luego bastará en la Tabla III buscar la epacta 71

en la primera columna vertical, y, siguiendo la misma línea horizontal, el número correspondiente á la letra G que encabeza la cuarta columna indicará el dia de la Pascua; así hallaremos que es el 1º de Abril.

PROBLEMA 2º *Hallar la Pascua para el año de* 1890.

Averíguese la letra dominical y el áureo número: por medio del áureo número se hallará la epacta correspondiente en la Tabla II, con la letra dominical y la epacta se encontrará en la Tabla III el dia de Pascua. De este modo será:

$$\text{Let. Dom.} \left\{ \begin{array}{l} 7_n + 6 - 1890 - 472 + (18-16) - \frac{1}{4}(18-16) = \\ = 7_n - 2354 = 7_n - 7 \times 336 - 4 = 7 - 2 = 5 = \text{E} \end{array} \right.$$

$\frac{1890+1}{19} = 99$, y el áureo número será 10. Con este número la tabla II en la columna de 1800 dá la epacta IX. Si buscamos en la tabla III la epacta IX y la letra dominical E, hallaremos que el dia de la Pascua caerá en 6 de Abril.

Nota C.

Hallar por medio del ciclo solar la letra dominical.

Hallado el ciclo solar por el método indicado [Lib. II Cap. III § 7], puede fácilmente conocerse sin cálculo la letra dominical para un año cualquiera, teniendo á la vista la Tabla I siguiente:

	LETRA DOMINICAL.			LETRA DOMINICAL.	
Ciclo solar.	Refor. Juliana.	Refor. Greg.	Ciclo solar.	Refor. Juliana.	Refor. Greg.
1	G F	E D	15	C	A
2	E	C	16	B	G
3	D	B	17	A G	F E
4	C	A	18	F	D
5	B A	G F	19	E	C
6	G	E	20	D	B
7	F	D	21	C B	A G
8	E	C	22	A	F
9	D C	B A	23	G	E
10	B	G	24	F	D
11	A	F	25	E D	C B
12	G	E	26	C	A
13	F E	D C	27	B	G
14	D	B	28	A	F

Explicacion.—Se quiere hallar la letra dominical del año de 1878. Como el ciclo solar de dicho año es 11, la letra F correspondiente en el Calendario Gregoriano será la letra dominical. Si hubiese de hallarse la letra dominical de 1204 tendriamos $\frac{1204+9}{28} = 43 + \frac{9}{28}$. Siendo 9 el ciclo solar, se halla que la letra dominical correspondiente en el calendario Juliano fué D C: por lo tanto, el año fué bisiesto. Cuando en el año de que se trata, resulta un cociente exacto, entonces la letra dominical es la que corresponde al ciclo 28. Así por ejemplo, la letra dominical del año 1867 ha sido F, pues $\frac{1867+9}{28} = 67$.

Es de advertir que para el Calendario Gregoriano esta tabla debe renovarse cada 100 años, á causa del dia intercalado que se halla suprimido despues de transcurrir dicho tiempo. Así la tabla de arriba sirve sólo hasta fines del siglo XIX. Para formar otra, habria que transportar de su lugar á un lugar superior todas las letras, de modo que la G tome el lugar de la A, la F de la G, etc.

Nota D.

Construir un cuadrante con la mayor precision.

La mayor precision y exactitud en la construccion gráfica de un cuadrante solar, puede conseguirse solamente con el cálculo. He aquí un procedimiento muy sencillo. Hallada la línea meridiana del modo dicho y formando en la C (fig. 206) un ángulo igual á la latitud del lugar (si el cuadrante es vertical, igual al complemento de dicha latitud), sea AB la altura del gnómon. Averiguemos á qué distancia del pié del gnómon, deberá trazarse la equinonoccial: llamemos BE esa distancia tendremos: $BE = \frac{AB}{\cot.\lambda}$ (λ es la latitud del lugar.)

Sea pues AB = $0^m,32$, $\lambda = 53°,11'$; tomando los logaritmos será:

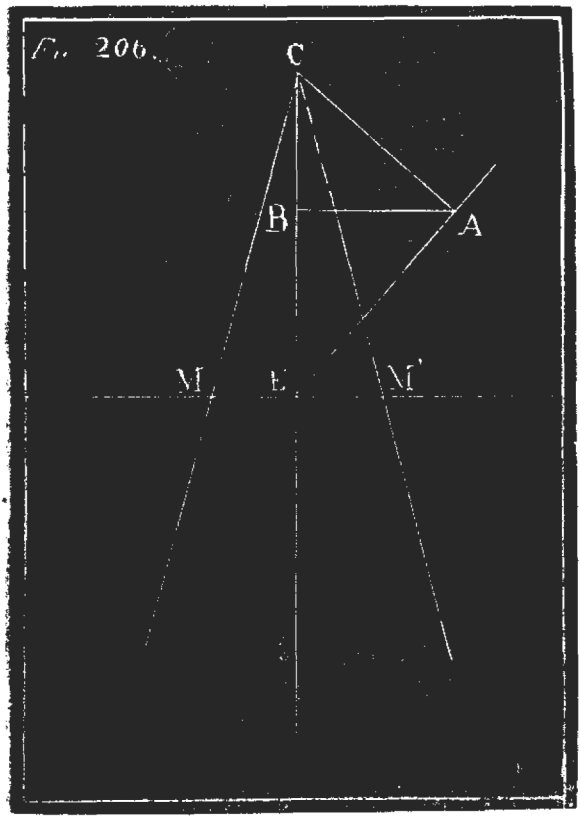
$$\log.\ 0^m,32 = 9.50514.99$$
$$-\log.\ \cot.\ 53°,11' = 9.87422.04$$
$$\log.\ BE. = \overline{9.63092.95}$$
$$\text{luego } BE = 0^m,428.$$

Bastará, pues, trazar una perpendicular á la meridiana que pase por el punto E distante del pié del gnómon $0^m,428$: ésta será la equinoccial.

Para hallar las líneas horarias, nos valdremos de la fórmula

$$\text{tg. MCE} = \text{tg. } h \text{ sen. } \lambda.$$

Como el sol recorre 15° por hora, bastará averiguar los ángulos que cada línea horaria forma con la meridiana, hallándose el sol una,



dos, tres y cuatro horas distante del meridiano: por lo tanto, si se hace $h = 15°, = 30°, = 45°$, etc., se tendrán las líneas horarias. Así será:

$$\begin{aligned} \text{log. tg. } 15° &= 9.42805 \\ \times \text{log. sen. } 53°,11' &= 9.90339 \\ \hline \text{log. tg. MCE} &= 9.33144 \\ \text{MCE} &= 12°,6',25''. \end{aligned}$$

Bastará, pues, formar en C un ángulo $= 12°6',25''$ por uno y otro lado de la meridiana, para trazar las líneas CM, CM', que representarán las 11^h de la mañana y la 1^h de la tarde. Variando, pues, para cada línea el valor de h, tendremos las demás líneas horarias del modo dicho.

Si se trata de un cuadrante vertical, bastará sustituir á la latitud del lugar su complemento, es decir, en lugar de λ poner $90°-\lambda$. Así será, para hallar la equinoccial,

$$\text{Log. AB} = \log.\ 0^m,32 = 9.50514.99$$
$$\times \log.\ \text{cot.}\ 90° - \log.\ \text{cot.}\ 36°,49 = 0.12577.96$$
$$\log.\ \text{EB.} = \overline{9.63092.95}$$

EB (distancia de la equinoccial) $= 0^m,428$; de lo que resulta que la construccion de un cuadrante vertical es la misma que la de un horizontal con solo la diferencia de la latitud: pues un cuadrante vertical cualquiera siempre es paralelo á un cuadrante horizontal á 90° de distancia.

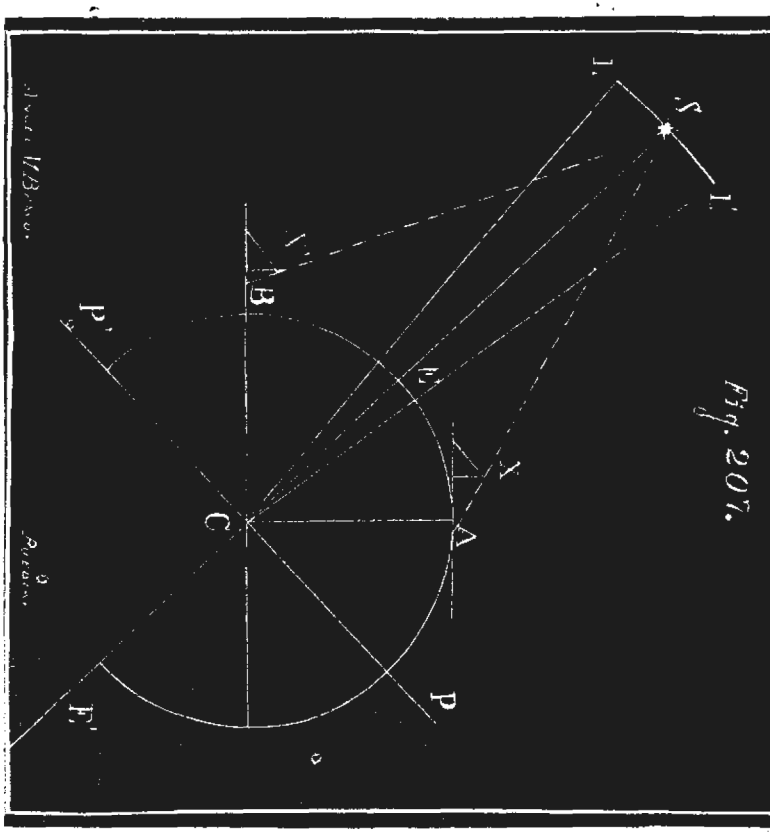


Fig. 207.

En efecto: el cuadrante horizontal X, [fig. 207] construido para una latitud igual á ACE, correspondiente al observador situado en

A, es paralelo al X′ que debe construirse verticalmente para un observador que se halla en B, á 90° de distancia del punto A. Por tanto, la construccion del cuadrante vertical en B se efectua al mismo modo que la que sirve para un cuadrante horizontal en A, con la única diferencia de que en el centro del cuadrante deberá formarse un ángulo igual al complemento de la latitud del lugar, como se ha dicho el nº 155, 2º

Para ejercicio de los alumnos se proponen los problemas siguientes:

1º Conociendo la ascension recta de una estrella, averiguar la de cualquiera otra con relacion á ésta.

2º Hallar en el globo la ascension recta, ó el ángulo horario y la declinacion de Wega (α de la Lira), Arturo, Rigel, Aldebarán, Canopo, α del Centauro, α de la Cruz, α del Escorpion.

3º Conociendo la altura h del polo sobre el horizonte de un lugar y la distancia zenital z de una estrella, hallar la distancia polar de la estrella en cualquiera de sus pasos por el meridiano superior ó inferior. (fig. 13).

4º ¿En qué dia será igual á 270° el azimut del Sol á su salida para todos los horizontes, y qué lugar ocupa el Sol en la eclíptica? R. Siendo = 0 la declinacion del Sol.

5º ¿Cuál será el azimut del Sol en los solsticios para un observador situado en el Ecuador? R. A la salida $= 270° \pm 23°$; á la puesta $90° \pm 23°$.

6º ¿Cuál será la amplitud ortiva y ocasa del Sol para cada latitud? [Llámase amplitud el arco azimutal comprendido entre los solsticios].

7º Hallar la altura máxima del Sol sobre el horizonte para un observador situado en el polo, y en qué dia se verifica. ¿Y en el Ecuador? R. En el Polo 23° en los solsticios: en el Ecuador 90° en los equinoccios.

8º Averígüese la altura máxima del Sol sobre el horizonte en el dia más largo para una latitud cualquiera. R. $= 90° - (\lambda - \omega)$.

9º Dada la declinacion del Sol, hallar su posicion en la eclíptica.

10º Rectificar el globo con respecto á un lugar. [Bastará elevar el polo del hemisferio del lugar tantos grados sobre el círculo horizontal cuantos son los grados de latitud del mismo lugar. Dando en seguida vuelta al globo hasta que el lugar en cuestion se halle en el meridiano, se resolverán todos los problemas que se piden.]

11º Un capitan de buque llegando al puerto de una isla, cuya latitud es $= -0°, 50'$, halla que su cronómetro, arreglado sobre Pa-

rís, marca 6^h, 7^m, 49^s, siendo en dicho punto las 12^h del dia. Averiguar la longitud de la isla, hallar su posicion en el globo é indicar el nombre de la isla. Se supone que el viaje se ha verificado hácia el Oeste.

12º Hallar en el globo todos los lugares que tengan las 12^h en el mismo instante en que son las 12^h en un lugar determinado.

13º Averiguar qué hora será en París, Rio Janeiro, Roma, Lóndres, etc., siendo las 4^h, 23^m de la mañana en Constantinopla, ó las 3^h de la tarde en S. Francisco de California.

14º Hallar para un lugar cualquiera la duracion del dia más largo ó más corto.

15º Averiguar á qué latitud el dia más largo es de 24^h, es decir, la latitud en que el Sol está siempre sobre el horizonte, siendo su círculo diurno tangente en un punto al horizonte mismo.

16º Hallar los lugares en que la noche más corta en verano es de 2, 3, 4, 5 y 6 horas.

17º Siendo la longitud del Sol = 45°, hallar la ascension recta y la declinacion del mismo.

18º Hallar la posicion del Sol en la eclíptica en un dia cualquiera para una latitud determinada. [Para esto será suficiente conocer el signo del mes en cuestion, y sobre el círculo horizontal del globo celeste averiguar los grados correspondientes al dia propuesto, teniendo cuidado de añadir á dichos grados el número de grados de los signos que hayan pasado desde el equinoccio. Cuéntense estos mismos grados sobre la eclíptica en el globo y se hallará la posicion del Sol.]

19º Hallada la posicion del sol en la eclíptica, averiguar la duracion de un dia determinado en un lugar cualquiera. [Póngase el lugar del sol hallado debajo del meridiano, y rectificado el globo con respecto al lugar; hágase coincidir las XII del círculo horario que se halla movible al rededor del polo, con el mismo meridiano y trasládese el punto en donde se halla el sol al círculo horizontal al E. y al O. El intervalo de tiempo marcado por la aguja del círculo horario indicará la duracion del dia.]

20º ¿En qué círculo paralelo estará el sol el 14 de Mayo y qué ciudades lo tendrán en el zenit?

21º Hallar la longitud que deberia tener el sol, para que pudiese pasar por el meridiano al mismo tiempo que Sirio, y en qué dia podria verificarse dicho paso simultáneo.

22º Supuesta la latitud de un lugar$=\lambda$, hallar la declinacion del último paralelo de las estrellas, que en su movimiento diurno son siempre visibles ó invisibles sobre el horizonte. R. $90°-\lambda$.

23º ¿Para qué latitud boreal puede ser horizontal un cuadrante vertical construido para una latitud austral=33°?

24º ¿Para qué latitud deberia suponerse construido horizontalmente un cuadrante que quiera construirse inclinado 15°,22′ sobre el horizonte del lugar cuya latitud fuera =36°,49′, boreal ó austral?

25º Dada la altura del gnómon=0^{m},042 y la altura del sol sobre el horizonte á mediodia, hallar sobre la línea meridiana el punto á que llegará la sombra en un dia determinado.

26º Dada la declinacion del sol en un dia cualquiera y la longitud de la sombra, hallar la latitud del lugar.

27º Siendo la altura mínima de una estrella circumpolar =24°, 15′,32″ y la distancia zenital mínima=35°,48′,36″: ¿cuál será la altura del polo sobre el horizonte, y cuál la distancia de la estrella? (fig. 11ª)

28º Si la distancia polar de una estrella es =17°,25′,48″ y la altura mínima sobre el horizonte =37°,48′,19″, ¿cuál será la distancia zenital mínima de la estrella?

29º ¿Cuál será la ascension recta de una estrella que pasa por el meridiano 15^{h},25^{m},43′, despues que ha pasado el equinoccio de Aries?

30º Hallar los límites del hemisferio en que es visible un eclipse de luna, hallándose ésta en el zenit de un observador, que esté á 8°,40′,25″ del Ecuador y á 7^{h},28^{m} de diferencia en tiempo al O. de París, en el momento en que se verifica el medio del eclipse.

31º Hallar en el globo la posicion de los lugares, cuyas coordenadas geográficas se expresan á continuacion.

NOMBRES.	LATITUD.	LONGITUD.
Avignon	+43°, 37′, 13″,	2°, 28′, 15″, E.
Burdeos	44, 50, 19,	2, 34, 56, O.
Lille	50, 38, 44,	0, 43, 37, E.
Marseille	43, 17, 52,	3, 1, 48, E.
Greenwich	51, 28, 38,	2, 20, 9, O.
Sebastopol	44, 36, 51,	31, 11, 8, E.
Sevilla	37, 22, 44,	8, 21, 23, O.
Burgos	42, 20, 28,	6, 3, 13, „
Cambridge	42, 22, 49,	73, 27, 50, „
Halifax	44, 39, 38,	65, 55, 26, „
Munich	48, 8, 20,	9, 14, 18, E.
Toronto	43, 39, 35,	81, 43, 31, O.
Caracas	12, 6, 16,	71, 16, 10, „
Galápagos	— 0, 50, 0,	91, 57, 9, „

Chimborazo	— 1,	29,	0,	81,	22,	30,	,,
Santiago [Chile]	—33,	26,	25,	72,	52,	32,	,,
Valparaiso	—33,	1,	55,	74,	1,	39,	,,
Buenos Aires	—34,	36,	18,	60,	44,	12,	,,
Montevideo	—34,	54,	8,	58,	33,	25,	,,
Sidney	—33,	51,	41,	148,	54,	50,	E.
Lincoln	—34,	48,	25,	133,	24,	27,	,,
Britannia	—21,	38,	10,	165,	41,	51.	,,
Génova	+46,	11,	59,	3,	48,	59,	,,
Messina	38,	8,	3,	13,	14,	30,	,,
Roma	41,	53,	52,	10,	8,	42,	,,
Nápoles	40,	50,	15,	11,	55,	23,	,.
Venecia	45,	26,	2,	10,	0,	7,	,,
Zurich	47,	22,	31,	6,	12,	47,	,,
Vesubio [monte]	40,	49,	14,	12,	5,	20.	,,
Etna ,,	37,	43,	31,	12,	40,	45,	,,

Indice de las Materias.

PÁG.

Al lector..... v
Introduccion..... 9.
Nociones preliminares.—1. Horizonte aparente y racional; depresion del horizonte.—2. Esfera celeste.—3. Ecuador, hemisferios, paralelos.—4. Meridiano..... 11—14.
5. Coordenadas celestes.—6. Primer sistema: Horizonte y meridiano.—7. Segundo sistema: Ecuador y círculo de declinacion.—8. Ángulo horario.—9. Tercer sistema: Eclíptica, círculo perpendicular á ella.—10. Resúmen de los tres sistemas.—11. Faja del zodiaco..... 15—18.
12. Altura y azimut.—13. Método para hallar el meridiano.—14. Método para hallar el azimut.—15. Determinacion de la posicion del eje del mundo..... 19—21
16. Ascension recta y declinacion.—17. Círculo horario fundamental ó primario. 18. Telescopio ecuatorial.—19. Método para hallar la declinacion.—20. Tres casos diferentes.—21. Latitud y longitud.—22. Rosa náutica..... 22—25.

LIBRO I.

DE LAS ESTRELLAS.

§ 1º Del cielo estrellado.—23. Movimiento diurno; tiempo sidereal; distancia angular.—24. Estrellas simples y múltiples.—25. Si pueden numerarse las estrellas.—26. Catálogos de las estrellas..... 27—28.
§ 2º Brillo y número de las estrellas.—27.—Diferentes magnitudes.—28. Grupos y constelaciones.—29. Orden de magnitud en los dos hemisferios.—30. Cálculo aproximado del número de las estrellas..... 29—31.
§ 3º Distancia de las estrellas.—31. Método para hallarla.—32. Paralaje anual y distancia de algunas estrellas..... 31—32.
§ 4º Movimiento propio de las estrellas. 33.—Estrellas cuyo movimiento se conoce..... —33.
§ 5º Estrellas dobles, triples, múltiples, etc.—34. Dobles.—35. Revolucion de dichas estrellas.—36. Número de estrellas dobles—37. Triples.—38. Periódicas.—39. Hipótesis sobre las estrellas periódicas.—40. Variables.—41. Temporarias.—42. Coloreadas..... 34—40.
§ 6º Nebulosas.—43. ¿Qué se entiende por nebulosas?—44. Nebulosas resolubles.—45. Nébulas.—46. Vía láctea..... 40—44.
§ 7º Aspecto del cielo en varios puntos del globo.—47. Triple posicion del globo terrestre..... 46—48.

LIBRO II.

DE LA TIERRA.

CAP. I. § 1º Posicion de la tierra en el espacio: su forma.—48. Aislamiento y redondez de la tierra.—49. Prueba de la redondez de la tierra por la depresion del horizonte.—50. Relacion del

PÁG.

globo terrestre con la esfera celeste.—51. Los viajes al rededor del globo demuestran la redondez de la tierra.—52. Consecuencias que se deducen..... 49—51.
§ 2º Coordenadas geográficas.—53. Latitud y longitud..... —52.
§ 3º Medida de las coordenadas geográficas.—54. Por la diferencia de horas en puntos distantes entre sí.—55. Por el telégrafo.—56. Por el cronómetro.—57. Por el método de señales.—58. Por los eclipses de los satélites de Júpiter..... 54—55.
59. Primer método para hallar la latitud de un lugar.—60. Segundo método..... —55.
§ 4º Medida de un arco de meridiano.—61. Arco de un grado.. —56.
§ 5º Forma de la tierra.—62. La tierra es un elipsóide..... —57.
§ 6º Longitud del metro.—63. Medida de un cuarto de meridiano.—64. Correccion de dicha medida..... 59—60.
§ 7º Cartas geográficas.—65, 66. Proyeccion sobre un plano.—67. Varias especies de proyecciones—68. Proyeccion central.—69. Aplicacion de la teoría de las proyecciones á las cartas geográficas.—70. Proyeccion ortográfica.—71. Proyeccion estereográfica.—72. Proyeccion homalográfica.-73. Cartas de Mercator—74. Ventajas de esta proyeccion..... 60—67.
CAP. II. ROTACION DE LA TIERRA..... —68.
§ 1º Pruebas del movimiento de rotacion.—75. Principio de mecánica.—76. Fuerza centrífuga y gravedad.—77. Fluidez del globo terrestre.—78. Cómo pueda representarse el globo terrestre.—79. La desviacion de un cuerpo en su caida demuestra la rotacion de la tierra.—80. La oscilacion del péndulo en el polo.—81. En el ecuador.—82. En las latitudes intermedias.—83. Consecuencias..... 68—73.
§ 2º Fenómenos que dependen de la rotacion de la tierra.—84. Aire atmosférico.—85. Corrientes polares.—86. Otros fenómenos accidentales.—87. La precesion de los equinoccios..... 74—75.
§ 3º—88. Prueba indirecta deducida de la velocidad de los cuerpos celestes..... —75.
CAP. III. MOVIMIENTO DE TRASLACION DE LA TIERRA.
§ 1º—89. Teoría de los antiguos. sistema de Tolomeo.—90. Estudios de Copérnico.—91. Publicacion de su obra.—92. Sistema de Copérnico.—93. Sistema de Ticho-Brahé.—94. Ideas de Galileo.—95. Galileo defiende el movimiento de la tierra.—96. Opinion de Kepler: descubre las leyes que llevan su nombre..... 76—84.
§ 2º Aberracion de la luz.—97. Fenómenos que dieron origen al descubrimiento de la aberracion.—98. Movimientos aparentes de la estrella polar, ó de cualquiera otra en el polo de la eclíptica.—99. En qué consiste la aberracion de la luz.—100. Posiciones de la tierra en el espacio..... 85—88.
§ 3º Precesion.—101. Explicacion del fenómeno.—102. Valor de la precesion..... 90—92.
§ 4º Nutacion.—103. En qué consiste.—104. Explicacion del fenómeno.—105. Valor de la variacion.—106. Otros movimientos. 93—94.
§ 5º Causas de la precesion y de la nutacion.—107. Atraccion del Sol sobre la masa ecuatorial.—108. Accion de la Luna.... 95—96.
CAP. IV. DE LA ATMÓSFERA.
§ I.—109. Naturaleza de la atmósfera..... —96.

PÁG.

§ 2º Luz difusa y centelleo.—110. De la reflexion de los rayos luminosos.—111. Centelleo de las estrellas..... —97.
§ 3º Crepúsculo. —112. Su naturaleza, su causa.—113. Altura de la atmósfera deducida del crepúsculo..... 98—99.
§ 4º Refraccion atmosférica. —114. Leyes de la refraccion atmosférica, explicacion de la tercera ley —115. Deformacion del Sol y de la Luna.—116. Fenómenos que erroneamente se atribuyen á la refraccion atmosférica..... 100—103.

LIBRO III.

DEL SOL.

CAP. I. MOVIMIENTO APARENTE.....
§ 1º 117. Esplicacion del movimiento aparente suponiéndolo circular.—118. En la hipótesis de ser elíptico.—119. Variacion de distancia de la tierra al Sol..... 104—105.
§ 2º Desigualdad de los dias y de las noches.—120. Movimiento aparente anual.—121. Consecuencias.—122. Climas astronómicos..... 106—108.
§ 3º Desigualdad de los dias solares.—123. En qué consiste la variacion.—124. Causas que la producen.—125. Principio de las áreas.—126. Velocidad diversa en el perigeo y en el apogeo.—127. La oblicuidad de la eclíptica: arco en los equinoccios.—128. Arco en los solsticios..... 110—113.
§ 4º ESTACIONES: desigualdad de su duracion. —129. Posiciones de la tierra en los equinoccios y en los solsticios.—130. La elipse terrestre dividida en cuatro partes desiguales..... 114—116.
§ 5º Movimiento del perigeo.—131. Valor variable de la longitud del perigeo en épocas distantes..... —117.
§ 6º Ecuacion del centro. 132. En qué consiste..... —119.
§ 7º Variaciones del diámetro aparente del sol.—133. Por la excentricidad de la elipse solar aparente..... —120
§ 8º Año trópico, sideral, anomalístico.—134. Diferencia en su duracion..... —120.
§ 9º Calendario.—135. Correccion Juliana.—136. Correccion Gregoriana.—137. Quienes la adoptaron.—138. Semana.—139. Meses..... 121—123.
Apéndice para hallar el dia de la Pascua.—140. Dia fijo determinado por la Iglesia.—141. Método y fórmula de Gauss.—142. Fiestas movibles..... 124—126.
§ 10º Nocion histórica sobre la division del tiempo.—143. Forma diversa de la division del año.—144. Orígen de los meses.—145. Principio del dia civil.—146. Instrumentos para marcar las horas..... 123—127.
CAP. II. DE LA MEDIDA DEL TIEMPO.....
§ 1º Division en 24 horas.—147..... —128.
§ 2º Tiempo medio.—148. Sol medio, ecuacion del tiempo.—149. Tabla de la ecuacion del tiempo; modo de usarla..... 129—130.
§ 3º Línea meridiana.—150. Método para hallarla por medio del gnómon.—151. Problemas..... 131—133.

PÁG.

§ 4º Gnomónica.—152. Especies de cuadrantes.—153. Cuadrante ecuatorial.—154. Cuadrante horizontal.—155. Cuadrante vertical-paralelo, declinante.—156. Diferentes especies de gnómon.—157. Paralelo de los signos del zodiaco.—158. *Lemniscata* ó sea curva del medio dia en tiempo medio.—159. Problema. 136—147

CAP. III. DISTANCIA DEL SOL Á LA TIERRA.....

§ 1º Paralaje.—160. En qué consiste.—161. Fórmulas..... 149—150.

§ 2º Correccion de la paralaje.—162. Punto fijo á que deben referirse las observaciones.—163. Valor del ángulo.—164. Fórmula más general..... 151—152.

§ 3º Medida de la paralaje.—165. Método geométrico.—166. Método del paso de Vénus sobre el disco del Sol.—167. Cálculo de la distancia..... 153—155.

§ 4º Magnitud del Sol.—168. Relacion de los diámetros del Sol y de la Tierra, volúmen, masa y densidad del Sol..... —156.

§ 5º Manchas.—169. Qué cosa son.—170. Propiedad de las manchas.—171. Su curso sobre el disco del Sol.—172. Fáculas.—173. Superficie del Sol desigualmente luminosa.—174. Curso de dos manchas observadas por el P. Scheiner.—175. Advertencia. 157—161

§ 6º Rotacion del Sol.—176. Rotacion aparente y real; valor respectivo..... —161.

§ 7º Ciclo solar.—177. En qué consiste.—178. Método para calcularlo..... —163

§ 8º Constitucion física del Sol.—179. Protuberancias.—180. Corrientes atmosféricas.—181. Temperatura del Sol.—182. Estado gaseoso del Sol..... 164—166.

§ 9º Luz zodiacal.—183. Su naturaleza..... —166.

LIBRO IV.

DE LA LUNA.

CAP. I. § 1º LA LUNA satélite de la Tierra.—184. Aspecto en que se presenta.—185. Su movimiento.—186. Nodos..... 168—169.

§ 2º Revolucion sinódica de la Luna.—187. Diferencia con la revolucion sideral: su valor.—188. Ciclo lunar, áureo número.—189. Epacta.—190. Método para hallar el áureo número.—191. Método para hallar la epacta.—192. Método para hallar la edad de la Luna en un dia cualquiera.—193. Hallar la epacta de los años sucesivos..... 169—172.

§ 3º Fases de la luna.—194. Novilunio y Plenilunio.—195. Esplicacion de las fases.—196. La luna presenta siempre el mismo hemisferio á la tierra.—197. Fenómenos que presentaria la Tierra desde la Luna.—198. Luz cenicienta..... 172—175.

§ 4º Naturaleza de la órbita lunar.—199. Es elíptica.—200. Es plana..... 175—176.

§ 5º Retrogradacion de los nodos.—201. Valor medio de dicha retrogradacion..... —176.

§ 6º Libraciones de la Luna.—202. Libraciones en *latitud*.—203. Libracion en *longitud*.—204. Libracion *diurna*..... 177—179.

§ 7º Paralaje de la luna: su distancia á la tierra.—205. Valor de la paralaje, y distancia en radios terrestres..... —179.

PÁG.

§ 8º Movimiento de la luna al rededor del sol.—206. Curva epicicloidal ..... —180.
§ 9º 207. Diámetro de la Luna.—208. Superficie y volúmen.—209. Masa y densidad ..... 181—182.
§ 10º Constitucion física de la Luna.—210. Montañas y valles: cráter Copérnico, mares.—211. La luna sin atmósfera, agua ni nubes ..... —182.
§ 11º De las mareas.—212. *Flujo y reflujo.*—213. *Periodos.*—214. Causas que las originan.—215, 216. Forma que toman las aguas.—217. Efectos de la posicion relativa del Sol y de la Luna.—218. Establecimiento del puerto.—219. Diferencia de alturas en las mareas.—220. Mareas en las costas de América.—221. Diferencia de la altura de la marea en el dia y en la noche.—222. velocidad de la marea ..... 184—196.
CAP. II DE LOS ECLIPSES.—223. Definicion ..... —197.
§ 1º Eclipses de Luna.—224. Posibilidad de un eclipse de Luna.—225, 226. Condiciones de un eclipse de Luna.—227. Resúmen.—228. Dígitos.—229. Importancia de dichos eclipses.—230. Penumbra: en qué consiste.—231. Influjo de la atmósfera terrestre.—232. Visibilidad de un eclipse de Luna: método para hallar el hemisferio en que es visible ..... 197—204.
§ 2º Eclipses de Sol.—233. Diferentes especies.—234, 235, 236. Condiciones de un eclipse de Sol ..... 204—208.
§ 3º Anotaciones sobre los eclipses.—237. Frecuencia.—238. Diferencia característica entre los eclipses de Sol y los de Luna .. 209—209.
§ 4º 239. Fenómenos que se verifican en los eclipses totales de sol; corona luminosa.—241. Protuberancias.—242. Efectos atmosféricos.—243. Conclusion ..... 210—214.

LIBRO V.

DE LOS PLANETAS

CAP. I. § 1º 244. NOCIONES GENERALES.—245. Division de los planetas ..... 215—
2º Movimiento de los planetas.—246. Estacion y retrogradacion.—247. Epoca de la visibilidad de un planeta.—248. Movimientos aparentes de los planetas superiores ..... 216—218.
§ 3º Distancia de los planetas al sol.—249. Método para hallar la distancia.—250. Orden de distancia de los planetas.—251. Descubrimiento de los asteróides.—252. Signos que representan á los planetas.—253. Cuadro de la distancia de los planetas .. 220—222.
CAP. II. CARACTERES PARTICULARES DE LOS PLANETAS ..... —223.
§ 1º Planetas inferiores.—253. 1º Mercurio.—254. 2º Vénus.—255. Fenómenos que presenta Vénus.—256. Cuestion sobre el satélite de Vénus ..... 223—227.
§ 2º Planetas superiores.—257. 1º Marte.—258. Fases de Marte.—259. 2º Asteróides.—260. Su cleneo.—261. Número de ellos.—262. 3º Júpiter.—263. Satélites de Júpiter.—264. 4º Saturno.—265. Satélites de Saturno.—266. 5º Urano.—267. Visibilidad de Urano.—268. 6º Neptuno.—269. Propiedad de Neptuno.—270. Satélites de Neptuno. Cuadro general del sistema solar .. 228—243.

PÁG.

CAP. III. METEOROS.—271. Su naturaleza.—272. Sus especies.. —244.
§ 1º 273. Aerólitos.—274. Su velocidad.—275. Su orígen..... 244—246.
§ 2º 276. Bólides.—277. Distancia, velocidad, diámetro de uno de ellos.—278. Número de los bólides..... —247
§ 3º 279. Estrellas errantes, su frecuencia, anillo meteórico.—280. Teoria del Prof. Schiaparelli.—281. Qué se entiende por ápice.—282. Variabilidad de dicho ápice..... 248—252.
CAP. IV. COMETAS..... —253.
§ 1º 283. Aspecto general de los cometas.—284. Núcleo, cauda.—285. Cometas de 1858 y de 1861.—286. Cometa de 1862.—287. Su aspecto.—288. ¿Qué es un cometa?..... 258—259
§ 2º 289. Constitucion física de los cometas..... —259
§ 3º 290. Otras particularidades de los cometas.—291. Formacion de las caudas..... 262—263.
§ 4º 292. Movimiento propio de los cometas.—293. Elementos del cometa de Halley..... 264—266.
§ 5º Cometas periódicos.—294. Cometa de Halley.—295. Cometa de Enke.—296. Cometa de Biela.—297. Cometa de M. Faye.—298. Orbitas de los cometas periódicos..... 267—271.
CAP. V. GRAVITACION UNIVERSAL.....
§ único.—299. Principios en que estriba la ley.—300. La fuerza de atraccion está en razon inversa del cuadrado de la distancia.—301. Raciocinio de Newton.—302. La fuerza atractiva es proporcional á la masa.—303. Esta ley es propiedad inherente á toda materia.—304. ¿Será esta fuerza un principio activo en la materia?..... 272—277.
Razon de las Notas que se añaden..... —275.
NOTA A. Averiguar la hora de la salida del Sol y la duracion del crepúsculo..... —278
NOTA B. Hallar el dia de la Pascua por el Calendario eclesiástico y la letra Dominical..... —280.
NOTA C. Hallar por medio del ciclo solar la letra dominical.... —287.
NOTA D. Construir un cuadrante con la mayor precision..... —288.
Problemas..... —291.
Indice de las materias..... —265

ERRATAS NOTABLES.

Pág.	Línea.	Dice.	Léase.
9	4	*τοῦ ὑρανοῦ*	*τοῦ οὐρανοῦ*
13	30	partes iguales	partes desiguales
17	9	pasado por el equinoccio	pasado el equinoccio
51	Nota. 6	$=2962+4{,}444^{m}1^{m}5$	$=2962\times4{,}444^{m}-1^{m}5$
52	32	PEP′P	OP′PE′
55		ZAF′ = RAH′	ZAF = RAH′
56	Fig. 37		Entre F y H debe ser S′
60	2	del meridiano	del cuarto del meridiano
145	Fig. 102		[falta la E]
149	29	E	E′
151	4	$p=\frac{r}{D'}$	$p=\frac{r}{D}$
151	12	$p=\frac{r}{D}$	$p=\frac{r}{D'}$
173	37	Plemilunio	Plenilunio
174 nota.	22	cantidad de masa	cantidad de materia
182	29	altu-	alturas
193	36	Relocanvi	Reloncaví
194	11	Relocanvi	Reloncaví
211	8	extension	extincion
220	9	tiempos que,	tiempos, que
230	19	fallado	faltado
235	36	pasa	pasan
241	20	manchas, apenas	manchas, que apenas
242	34	enunciado	anunciado
250	5	no difiriéndose	no diferenciándose
251	5	Profesor. Heis	Profesor Heis
251	6	Alejandro, Herschel	Alejandro Herschel
253	42	sino tambien que	sino que tambien
261	Nota	de 4 al 6	de 4 á 6
262	10 y 35	reflejada por el Sol	reflejada del Sol
262	Nota	era de 2000	era 2000
274	32	por el movimiento	por el *momento*
276	1	$\frac{LB}{LB'}=\frac{LB'}{LB'}$	$\frac{LB}{LB'}=\frac{LB'}{LL'}$
286	última	la epacta 71	la epacta 17
291	7	el núm. 155	en el núm. 155
292	30	al lugar; hágase	al lugar, hágase