

COSMOGRAFIA. { **TOMO I** Parte Descriptiva

Prof. MARDOQUEO YÁÑEZ BRAVO.



KEPLER

ES PROPIEDAD.

Queda hecho el depósito
que determina la lei.

Prof. **Mardoqueo Yáñez Bravo.**

Chiloé 1411.—Casilla 689.—Santiago de Chile.

31 ENE. 1984

**MUSEO PEDAGOGICO
DE CHILE**

Volúmenes
Sala
Estante
Tabla
N.º de orden
Donante **Gertrudis Muñoz de E.**
Ciudad **Santiago, 31-X-1952.**

S

2.00
2.00
2.50
2.50
3.50

5.00

7. **Geometria Intuitiva**, II año de Humanidades.....
8. **Geometría**, III año de Humanidades....
9. **Matemáticas**, IV año, Álgebra i Geometría, en un solo volumen.....
10. **Matemáticas**, V año, Álgebra i Geome-

3.50
3.50

5.50

7.50

7.50

7.50

10.00

10.00

**MUSEO PEDAGOGICO
DE CHILE**

Inventario

Sala N.º

N.º de orden

BRAVO.

Humanidades.-VI año

Sistema Concéntrico.

COSMOGRAFÍA.

POR

Mardoqueo Yáñez Bravo

Profesor de Matemáticas en el Liceo Manuel Barros Borgoño
i en la Escuela Militar.

Tomo I.—Parte Descriptiva.

Con aprobación Universitaria



Segunda edición, corregida



 R. 12 8 3 2

SANTIAGO DE CHILE

Sociedad Imprenta i Litografía Universo

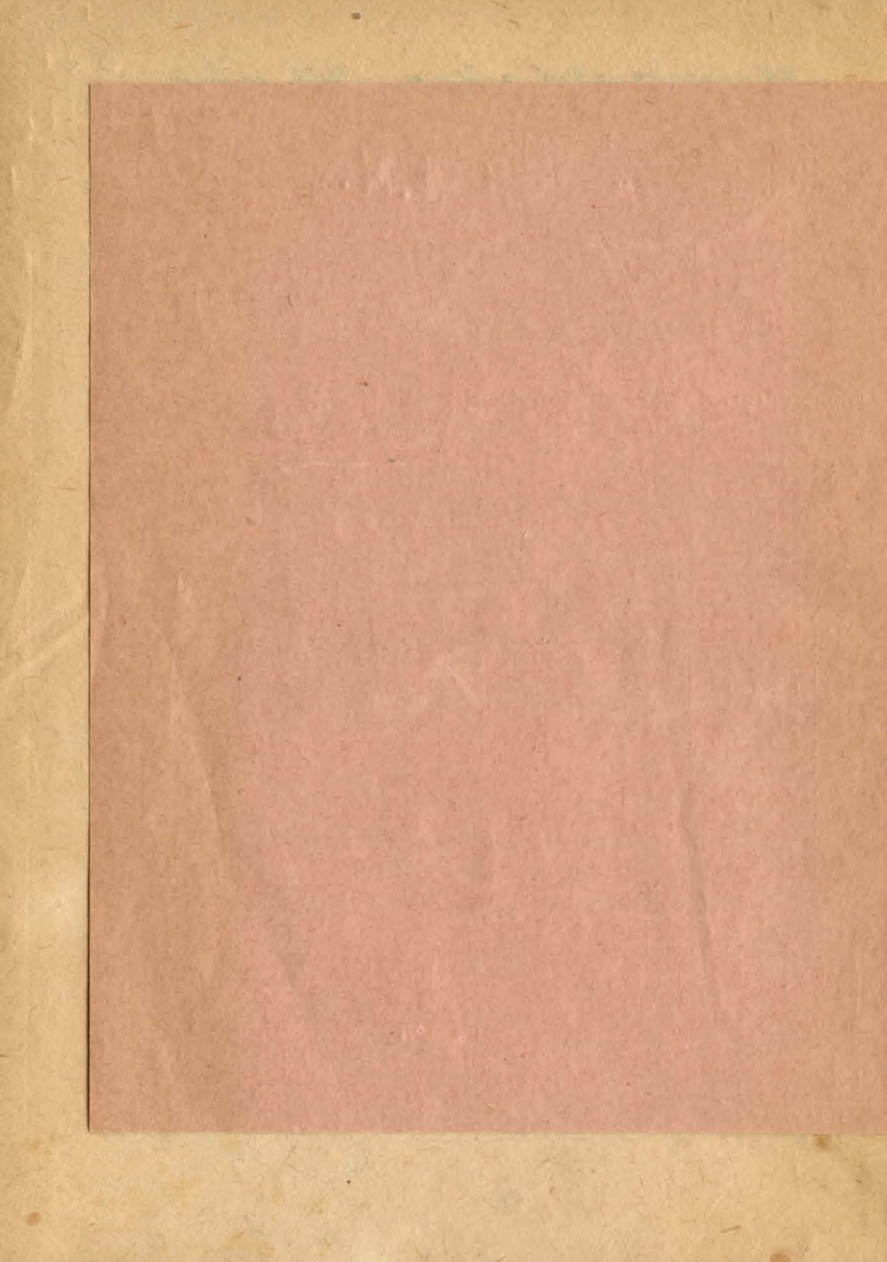
1921

lunes 12 a las 9 A.M.

Corrijase antes de leer!

OBSERVACIÓN.—El signo menos (—) colocado antes de un número, indica que la línea debe contarse desde abajo.

PÁJ.	LÍNEA	SE LEE:	DEBE LEERSE:
29	6	Tierra, T,	Tierra T,
35	{ — 5 — 6 — 10	equinoccios	equinoxios
101	9	§ 16	§ 1.
103	17	§ 17	§ 1a.



INDICE

I

INTRODUCCIÓN

	Pájs.
§ 1. Explicación.....	4
§ 2. La atmósfera.....	4
§ 3. La bóveda celeste.....	5
§ 4. El día i la noche.....	6
§ 5. Sucesión del día i de la noche.....	7
§ 6. El día: el crepúsculo; el Sol i su trayectoria aparente.....	8
§ 7. En la noche: la Luna i las Estrellas. Sus trayectorias aparentes.....	9
§ 8. Nebulosas.....	II
§ 9. Notas históricas.....	12
1) Los chinos.—2) Los caldeos.—3) Los griegos.—4) Los ejipcios.—5) Los sarracenos.—6) Copérnico. El Verdadero Sistema Solar.—7) Ticho-Brahé. —8) Galileo.—9) Képler. Sus leyes.—10) Newton. Su lei de gravitación universal.	

— IV —

II

DEFINICIONES

	Pájs.
§ 1. Movimiento diurno.....	26
§ 2. Movimiento retrógrado i directo.....	26
§ 3. Leyes del movimiento diurno.....	27
§ 4. Ejes i polos.....	27
§ 5. Vertical, Cénit i Nadir.....	29
§ 6. Planos fundamentales, otras definiciones.	30

III

COORDENADAS

§ 1. Posiciones de la esfera.....	37
§ 2. Estrellas circumpolares.....	40
§ 3. Determinación del plano del meridiano de un lugar.....	40
§ 4. Puntos cardinales.....	42
§ 5. Sistema horizontal de coordenadas.... 1) La altura.—2) El azimut.	43

EJERCICIOS

§ 6. Sistema ecuatorial de coordenadas.....	52
1) Cálculo de la Ascensión Recta.....	55

EJERCICIOS

2) Cálculo de la declinación.....	58
-----------------------------------	----

EJERCICIOS

	Pájs.
§ 7. Coordenadas jeográficas.....	62
1) Cálculo de la latitud jeográfica....	64

EJERCICIOS

1) Cálculo de la longitud jeográfica..	67
--	----

EJERCICIOS

IV

SISTEMA SOLAR

§ 1. Composición del Sistema Solar.....	71
---	----

A.—EL SOL

§ 2. Influencia del Sol.....	72
§ 3. ¿Qué es el Sol?.....	73
§ 4. La Vía Láctea.....	74
§ 5. Distancia del Sol a la Tierra.....	76
§ 6. Aspecto del Sol.....	77
§ 7. Dimensiones del Sol.....	78
§ 8. Manchas solares.....	80
§ 9. Atmósfera solar.....	86
§ 10. El calor solar.....	88
§ 11. Composición química del Sol.....	89
§ 12. Acción magnética del Sol.....	89
§ 13. Movimientos aparentes del Sol.....	89

	Pájs.
1) Movimiento diurno.	
2) Movimiento en Ascensión Recta.	
3) Movimiento en Declinación.	
§ 14. Movimientos reales del Sol.....	93
1) Movimiento de rotación.	
2) Movimiento de traslación.	
§ 15. Hipótesis cosmogónica de Laplace.....	95

B.—PLANETAS

§ 16. El Zodíaco.....	101
§ 17. Oríjen de los nombres de los signos zodiacales.....	103
§ 2. Modo de distinguir un planeta entre las estrellas.....	107
§ 3. División de los planetas.....	107
§ 4. Tamaño comparativo de los planetas.....	109
§ 5. Conjunciones de los planetas.....	109
§ 6. Conjunciones de un planeta interior, con respecto al Sol.....	109
§ 7. Oposición, conjunción i cuadratura de un planeta exterior, con respecto al Sol...	111
§ 8. Movimiento de un planeta interior.....	112
§ 9. Fases de un planeta interior.....	112
§ 10. Movimiento retrógrado de un planeta interior.....	113
§ 11. Causa del movimiento retrógrado.....	114
§ 12. Fases de un planeta exterior.....	115
§ 13. Movimiento retrógrado de un planeta exterior.....	116
§ 14. La velocidad de un planeta alrededor del Sol no es uniforme.....	117

§ 15. Nodos de un planeta.....	118
§ 16. Revolución sideral i sinódica de un planeta.....	118
§ 17. ¿Están habitados los planetas?.....	119
§ 18. Distancias de los planetas al Sol.....	120
§ 19. Mercurio.....	121
§ 20. Venus.....	122
§ 21. La Tierra.....	123
§ 22. Marte.....	124
§ 23. Planetoides.....	126
§ 24. Júpiter.....	129
§ 25. Saturno.....	133
§ 26. Urano.....	138
§ 27. Neptuno.....	140

C.—COMETAS

§ 1. Aspecto de un cometa.....	141
§ 2. Magnitud de los cometas.....	144
§ 3. ¿Qué son los cometas?.....	145
§ 4. Órbitas cometarias.....	146
§ 5. Cometas periódicos.....	146
I) Cometa de Encke.—II) Cometa de Biela o de Gambart.—III) Cometa Halley.—IV) Cometa de Donati.	
§ 6. Segmentación de cometas.....	151
§ 7. Choque de un cometa con la Tierra.....	153

D.—EXHALACIONES METEÓRICAS

§ 1. Estrellas filantes.....	154
§ 2. Periodicidad de las exhalaciones.....	155

	Pájs.
§ 3. ¿Qué son las exhalaciones?.....	155
§ 4. Bóridos i aerolitos.....	156
§ 5. Analogías entre exhalaciones i cometas..	157
§ 6. Sol meteórico.....	159

E.—LUZ ZODIACAL

§ 1. Aspecto.....	160
§ 2. Oríjen de la luz zodiacal.....	160

V.

SISTEMA ZIDERAL

§ 1. Aspecto de las estrellas.....	162
§ 2. Centelleo de las estrellas.....	162
§ 3. Número de estrellas.....	163
§ 4. Clasificación de las estrellas.....	163
§ 5. Distancia de las estrellas a la Tierra....	165
§ 6. Año de luz.....	166
§ 7. Dimensiones de las estrellas.....	166
§ 8. Movimientos de las estrellas.....	167
§ 9. Constelaciones.....	168
§ 10. Descripción de algunas constelaciones.....	169

I) Osa mayor i menor.—II) El dragón.—
 III) Cefeo.—IV) Casiopea.—V) Perseo.—
 VI) Andrómeda i el Cuadrado del Pe-
 gaso.—VII) Aries.—VIII) El Toro.—IX)
 El cochero.—X) Pisces.—XI) Gemini.—
 XII) Orión.—XIII) Perro mayor i Perro
 menor.—XIV) Unicornio o Monocerus.—
 XV) Leo.—XVI) Cáncer.—XVII) Virgo.

—XVIII) La Hidra.—XIX) Los Lebreles i Cabellera de Berenice.—XX) Bootes o el Boyero.—XXI) Hércules.—XXII) Serpentario.—XXIII) Escorpio.—XXIV) Libra.—XXV) Sajitario.—XXVI) Capricornio.—XXVII) Constelaciones varias: 1) Pez austral.—2) Antinous i el Aguila.—3) El Delfín.—4) El Cisne.—5) La Lira.—6) La Cruz del Sur.—7) El Centauro.—8) El Navío.—9) El Cuervo.—10) Triángulo austral.—11) El Lobo.—12) Eridano.

§ 11. Estrellas dobles i múltiples.....	192
§ 12. Estrellas de colores.....	193
§ 13. Estrellas cambiantes.....	193
§ 14. Causas de la variabilidad en el brillo de las estrellas.....	194
§ 15. Estrellas temporales.....	195
§ 16. Grupos de estrellas i nebulosas.....	196
§ 17. Nebulosas.....	197
§ 18. Nubes de Magallanes.....	202

VI

LA TIERRA EN ESPECIAL

§ 1. La Tierra no es plana.....	203
§ 2. La Tierra es redonda.....	203
§ 3. Verdadera forma de la Tierra.....	204
§ 4. La Tierra es un elipsoide de revolución.....	205
§ 5. Valor del achatamiento de la Tierra....	206
§ 6. Relieve de la Tierra.....	207

	Pájs.
§ 7. Peso de la Tierra.....	207
§ 8. Medición del arco de un grado de meridiano terrestre.....	208
§ 9. Rotación de la Tierra.....	208
§ 10. Consecuencias del movimiento de rotación de la Tierra.....	209
1) El movimiento diurno del Sol.	
2) El movimiento diurno de las estrellas	
§ 11. Movimiento de traslación de la Tierra....	209
§ 12. Consecuencias del movimiento de traslación de la Tierra.....	211
I. El aspecto de la Bóveda estrellada no es igual en todos los meses del año.	
II. El Sol se mueve en Ascensión Recta.	
III. El Sol se mueve en Declinación.	
IV. Variaciones en la duración del día i de la noche.	
V. Las estaciones.	
§ 13. Precesión de los equinoxios	216
§ 14. Nutación del eje de la Tierra.....	219
§ 15. Zonas jeográficas.	220
§ 16. Perturbaciones periódicas de las órbitas planetarias.....	220

VII

LA LUNA

§ 1. Aspecto de la Luna.....	221
§ 2. Atmósfera lunar.....	223
§ 3. Distancia de la Luna a la Tierra.....	227
§ 4. Dimensiones de la Luna.....	227

	Pájs.
§ 5. Movimientos de la Luna.....	228
§ 6. Fases Lunares.....	229
§ 7. Luz cenicienta.....	231
§ 8. Salida i puesta de la Luna.....	232
§ 9. Nodos de la Luna.....	232
§ 10. Libraciones.....	232

VIII

ECLIPSES.—MAREAS

§ 1. ¿Cuándo hai eclipse?.....	233
§ 2. Eclipses de Luna.....	234
§ 3. Eclipses de Sol.....	235
§ 4. Predicción de los eclipses.....	237
§ 5. Mareas.....	240

IX

TIEMPO

§ 1. Medida del Tiempo.....	242
§ 2. El día sidereal.....	242
§ 3. El día solar.....	243
§ 4. Desigualdad de los días solares.....	243
§ 5. Día solar medio.....	244
§ 6. Ecuación del tiempo.....	245
§ 7. Día civil.....	246
§ 8. Año sidereal.....	246
§ 9. Año trópico.....	246

	Pájs.
§ 10. Año anomalístico.....	247
§ 11. Año civil.....	247
§ 12. Año antiguo.....	247
§ 13. El calendario.....	248
§ 14. Calendario Juliano.....	248
§ 15. Calendario Gregoriano.....	249
§ 16. Comienzo del año.....	249
§ 17. Meses del año.....	250
§ 18. La semana.....	250

CARTA CELESTE.....	252
--------------------	-----

Recuerdo cariñoso
a mi distinguida ex. discipu-
la, Fra. Teresita de los Santos
de Ebersperger, para su con-
tinua lectura de las clases
de Cosmografía dadas por
su afino. amigo en el Liceo
de aplicación.
Mentamente

W. J. Pérez
COSMOGRAFÍA.

Mayo 1.º de 1921.

I

INTRODUCCIÓN.

§ 1. Explicación. Contiene este tomo sólo los conocimientos más indispensables para formar la cultura de una persona. Por esto, la exposición es casi en absoluto de carácter descriptiva.

En el segundo tomo se desarrollará la parte matemática.

§ 2. La atmósfera. La tierra está envuelta por una capa de aire: es la atmósfera, una de las fuentes de la vida.

El aire es pesado. Se comprueba esto por medio del barómetro.

La presión atmosférica es de 1,0336 Kgr. por centímetro cuadrado. Es enorme. I es la que retiene a

las aguas en estado líquido. Sin embargo, en nuestra vida no nos damos cuenta de esta presión. Es que estamos habituados a ella desde que nacemos; i a que hai equilibrio entre la presión atmosférica, i la organización interna de nuestro organismo.

La presión del aire disminuye con la altura.

A medida que un observador se eleva, el aire es menos pesado, puesto que sobre el punto de observación hai menor número de capas que presionan: el aire es menos denso.

A semejanza de un vestido, que conserva la temperatura del cuerpo en estado normal, la atmósfera impide la dispersión del calor solar, i el enfriamiento respectivo. Pero si el aire está mui enrarecido, esta dispersión es intensa; i por consiguiente, más rápido es el enfriamiento. Por eso en las altas montañas predomina una temperatura baja i el vapor de agua se precipita en forma de nieve.

No se sabe con exactitud cuál es el grosor de la capa atmosférica. Pero algunas observaciones han hecho pensar que su altura no podrá pasar de 200 Km. Es mui probable que su altura guarde alguna relación con el **volumen de la Tierra**, i en consecuencia, con su **radio**.

En la zona límite, el aire será de tan escasa densidad, que la existencia de la vida animal será imposible. Más allá de este límite, no hai aire; pero se supone la existencia de un fluído ponderable, denominado **éter**. De ahí el nombre de **rejiones etéreas**, con que suelen designarse a los espacios planetarios.

No se analiza aquí la composición del aire, que esto es cuestión de la Química; pero puede establecerse, como una verdad, que es incoloro i transparente. Sus moléculas reflejan parte de los rayos del espectro so-

lar, especialmente los azules. Estos se dispersan en todas direcciones; i de ahí el color celeste del cielo.

Mientras más denso es el aire, más intenso es su color; i tira a gris si el aire está mui enrarecido.

El cielo se ve negro cuando hai ausencia de luz. I así se le ve en una noche sin luna, a pesar del centellear de las estrellas.

Sin la luz solar i sin la atmósfera, el color azul del cielo no existiría. De ahí por qué con tanta verdad el poeta Lupercio Leonardo de Arjenzola ha dicho:

.....
Porque ese cielo azul que todos vemos
Ni es cielo, ni es azul. ¡Lástima grande
Que no sea verdad tanta belleza!

§ 3. La bóveda celeste. La bóveda celeste es el cielo. Es esa superficie cóncava, azulada, que parece cubrir la tierra, a manera de un enorme quitasol.

Cualquiera que sea la situación del observador, la forma del cielo es la misma. También lo es el color, con cortas variantes en su intensidad. I como la Tierra es redonda, i está aislada en el espacio, nos parece una inmensa esfera hueca, en cuyo centro está la Tierra. El radio de esta esfera, depende de la potencia visual del observador. Para una persona de vista corta, el aspecto de la esfera celeste será de reducidas proporciones. Mirada con un antejo, su amplitud es enorme. I como los rayos visuales son iguales, la forma en que se nos presenta es esférica.

Sin la atmósfera i las características de la luz solar, el cielo no existiría en la forma en que le vemos.

Los antiguos ejipcios lo suponían como un techo de fierro, resistente, del cual pendían numerosas lám-

paras, que se apagaban en el día i encendían en la noche.

En una llanura o en el mar, el cielo parece juntarse con la Tierra o con las aguas. I como la superficie de la Tierra, a la simple inspección nos parece plana, este plano corta a la esfera celeste según una línea curva circular. Es la **línea del horizonte**, que no debe confundirse con el **horizonte visible**. Este es la zona de la Tierra, limitada por la línea del horizonte del observador.

La esfera celeste parece aplanada en la parte superior. Es que los rayos que vienen de esta parte, nos llegan con mayor intensidad luminosa, que los que atraviesan las capas del horizonte. Estos llegan con menor poder luminoso, a causa de atravesar capas de aire más densas, cargadas de mayor cantidad de vapor de agua, i de otros gases. I según sea su intensidad luminosa, así es la proximidad o lejanía con que la vemos. Una fogata semi-apagada en la cumbre del San Cristóbal, nos parecerá en la noche, mucho más lejana que otra en el mismo sitio que brille en todo su esplendor. Igual cosa pasa con el cielo.

§ 4. El día i la noche. El día i la noche semejan dos hadas benéficas, que se alternan para dar actividad i descanso a los seres que respectivamente presiden.

Con el día, empiezan las actividades de la Humanidad, i el movimiento todo de los seres cuyo órgano visual se adapta al brillo de la luz, i su constitución física se armoniza con la intensidad del calor solar. Con la noche, cesan las actividades humanas: las aves vuelven a sus nidos; los insectos a sus cuevas i los animales se reconcentran en sus dormitorios. Todos reposan. Todos descansan, para reponerse del desgaste

que orijinan las actividades del trabajo o del ejercicio en la lucha por la vida. El sueño vela los ojos i la noción de la existencia desaparece.

Pero, con la llegada de la noche, las actividades de la vida no dejan de manifestarse. Al parecer, durante ella todo calla i todo duerme. Mas, somos nosotros los que no nos damos cuenta del incesante laboreo que despliegan los seres cuya vista no se adapta a la luz solar. Miriadas de insectos se ajitan en la atmósfera, buscando sus medios de existencia; i miles de aves tienden el vuelo en igual solicitud. Las fieras abandonan sus guaridas en busca de su presa, i algunas plantas abren los pétalos de sus flores para asimilar en la oscuridad los elementos que las vivifican. I como para corroborar que las actividades durante la noche no cesan, ni aún para la Humanidad, silban las locomotoras que trasportan los productos, rechinan los engranajes de las ruedas en las fábricas; i cientos de luces iluminan los pueblos i ciudades, formando parejas con los lejanos i brillantes focos luminosos que titilan en la bóveda estrellada. Llegá el día, i cesan las actividades nocturnas, para dar paso a las anteriores.

¡Oh! Hadas benéficas i misteriosas del Día i de la Noche: sin vosotras, la vida no existiría. Una noche perpetua mataría a la humanidad existente. I un día en la misma forma, destruiría a los seres que en la Tierra se desarrollan!

§ 5. Sucesión del día i de la noche. La sucesión del día i de la noche se debe a la rotación de la Tierra, de occidente a oriente.

Este movimiento es constante, i se efectúa en 24 horas.

Más adelante se hablará detenidamente de este movimiento.

Antiguamente se creía que la Tierra no jiraba. Se la suponía fija. I como lógica consecuencia de esta suposición, para explicarse el fenómeno de la sucesión del día i de la noche, imaginaban a los astros jirando alrededor de ella en sentido inverso, o sea de oriente a occidente, tal cual los vemos jirar en cada día i en cada noche. Pero esto es sólo una apariencia. La realidad es la anteriormente espuesta.

§ 6. En el día: el crepúsculo; el Sol i su trayectoria

aparente. La claridad del día no se manifiesta instantáneamente. Cuando el sol está a 18° bajo el horizonte, por el lado oriente, empieza ésta a manifestarse. Débil al principio, va en aumento a medida que el sol asciende. Esta claridad es el **crepúsculo**, que por la mañana recibe el nombre de **aurora**.

La duración de este crepúsculo depende de la latitud del punto de observación. Es mínima en el Ecuador i máxima en los Polos. En el Ecuador dura 72 minutos.

Con el crepúsculo matutino, el brillo de las estrellas disminuye, para desaparecer en absoluto ante la presencia esplendorosa del Sol, porque la intensidad de su luz es superior a la que las estrellas nos envían. Proyectadas además sobre un fondo luminoso, no pueden ser distinguidas. Sin embargo, algunas mui brillantes suelen serlo, en condiciones favorables de la atmósfera; i sobre todo, si se las observa desde el fondo de un pozo, para ponerlas al abrigo de la luz difusa de aquella.

El Sol sale por el lado Oriente. Está en su **Orto**. El 21 de Marzo i el 21 de Setiembre, sale en el punto **Este**.

En los demás días, se aproxima o se aleja, al salir de este punto.

La distancia del punto de salida del Sol al punto **Este**, se designa con el nombre de **Amplitud**.

El Sol asciende poco a poco, hasta alcanzar su mayor altura cuando está en el meridiano del lugar. En este instante se dice que el Sol **culmina**. Está en su punto de **culminación**. Son entonces las 12 del día; i el cañón del Santa Lucía avisa a los habitantes de Santiago que el Sol está en el meridiano. Este instante preciso se da desde el Observatorio Astronómico.

A partir de las 12 del día, la altura del Sol declina, hasta que se sitúa en el horizonte por el lado Oeste. El Sol está en su **Ocaso**, en oposición al Orto.

El 21 de Marzo i el 21 de Setiembre se pone también el Sol en el punto **Oeste**.

Al situarse el Sol bajo el horizonte por el occidente, los rayos solares dejan de proyectarse sobre éste. Empieza el crepúsculo vespertino, en orden inverso al matutino, para terminar también cuando el sol está a 18° bajo el horizonte.

La noche tiende después su negro manto sobre la tierra, i las estrellas vuelven a lucir con todo su esplendor.

¿I el Sol continúa su trayectoria por debajo de la tierra, como creían los antiguos? No. La trayectoria diaria del Sol es sólo aparente. No es real. Se debe, como ya se ha dicho, al movimiento de rotación de la Tierra de occidente a oriente.

§ 7. En la noche: la Luna i las Estrellas. Sus tra-

yectorias aparentes. La oscuridad de la noche tampoco se manifiesta bruscamente, a causa del crepúsculo; i en su curso, la intensidad dis-

minuye por la acción de la luz de la Luna i de los numerosos focos estrellares.

Como el Sol, la Luna i las Estrellas se levantan por el oriente hasta que culminan. Descienden en seguida hacia el occidente, para perderse bajo el horizonte. Estas trayectorias, que diariamente describen, tampoco son reales. Son aparentes. Las origina también el movimiento de rotación de la Tierra.

La Luna no culmina a las 12, como el Sol. La hora en que lo efectúa es variable. Tampoco sale i se pone en los puntos Este i Oeste en las fechas indicadas como fijas para la salida i puesta del Sol en ellos.

La Luna no tiene luz propia. La que posee la recibe del Sol i la refleja hacia la tierra. Por eso los rayos luminosos que nos envía son de escasa potencia calorífica; i de un brillo tan poco intenso, que aún brillando en toda su magnificencia, se ven numerosas estrellas en el firmamento.

En una noche sin luna i serena, el aspecto de la bóveda estrellada es sorprendente.

Es uno de los más sublimes espectáculos de la Naturaleza.

Millares de luces, armoniosamente diseminadas, brillan con intensidad variable.

Muestran algunas una luz suave i tranquila, semeando los ojos de madres amorosas que desde lejos nos contemplan.

Tienen otras un brillo cambiante, un centelleo variable, semeando almas inquietas, que se turban al ver nuestras pretensiones de querer escudriñar los secretos que allá en el fondo de los espacios siderales ocultan.

Las estrellas de brillo suave i tranquilo, son los **planetas**. Sus distancias relativas, con respecto a las de-

más estrellas, es variable. Quiere esto decir que el movimiento que en el espacio efectúan se hace sensible para nosotros. I su luz es tranquila, porque la reciben del Sol, como la Tierra i la Luna.

Las otras estrellas, de centelleo constante, son **Soles**. Tienen luz propia. I son inmensamente mayores que el que preside nuestros destinos. Pero sus distancias a la Tierra es tanta, que se nos presentan sólo como puntos brillantes.

Las distancias relativas que entre sí tienen no varía; no se hacen sensibles. No quiere esto decir que no se muevan. Participan también del movimiento jeneral común a todos los astros que pueblan el Universo.

En el espacio nada está fijo. El movimiento de los cuerpos celestes es perpetuo; i sus trayectorias forman parte de un conjunto armónico, cuyo centro jamás podrá precisarse donde se halla.

§ 8. Nebulosas. Fuera de las estrellas, se ven en la noche algunas manchas blancuecinas, de un aspecto lechoso. Son las **nebulosas**.

¿Qué son? Un conjunto inmenso de soles, tan enormemente lejanos, que su luz no llega distintamente a la Tierra, sino en forma difusa.

I al rededor de estos incontables soles, ¿cuántos planetas jirarán?

I nuestro propio Sol, ¿no será acaso un satélite de un centro de mayor poder de atracción? ¡Misterio, i más misterio!

Misterio indescifrable, que nunca la Humanidad, en su desarrollo creciente, podrá penetrar!

Ante el magnífico i grandioso espectáculo que el hermoso panorama del cielo nos presenta, el pensamiento no se detiene en los espacios planetarios, ni

en las rejiones sidéreas. Va más allá; más lejos, para perderse en el infinito; i concentrarse en la idea de la existencia de Dios!..

§ 9. Notas históricas. El aspecto de la bóveda estrellada tiene la belleza de la poesía más pura; i su armonioso conjunto tiene la exactitud matemática de la Jeometría. Siendo esto así, no es de estrañar que de su estudio se hayan ocupado los hombres desde los tiempos más remotos. I conforme a nuestro plan, se da en este capítulo una corta reseña sobre los precursores de la Astronomía matemática.

1. Los chinos. Basta considerar el hecho de que el emperador de los chinos se creyera de origen i ascendencia celeste, para pensar que se preocuparon del estudio del cielo. I hai constancia de que uno de los emperadores hizo dar muerte a los astrónomos **Ho** e **Hi**, al mismo tiempo gobernadores de provincia, por no haber anunciado un eclipse de Sol, allá por el año 2150 antes de J. C.

Los chinos se enorgullecen de sus descubrimientos de entonces. Ellos creen tener el primer registro de un eclipse de Sol, i las observaciones relativas a una conjunción de cuatro planetas con la luna, acaecida 25 siglos antes de la Era Cristiana.

Los chinos son, pues, considerados como los primeros astrónomos de que hai mención.

2. Los caldeos. Pastores como eran los caldeos, no escaparon a la idea de hacer observaciones sobre el cielo. I así, cuando Alejandro, el año 331 antes de J. C., entró a Babilonia, encontró escritos con observaciones referentes a un período de

tiempo de diez i nueve siglos atrás. En sus bibliotecas se encontraron 72 volúmenes con observaciones astronómicas, llamadas «Observaciones de Bel». Uno de estos libros trataba de la **Estrella polar**, entonces *a* del Dragón. Otro se refería a **Venus**, i un tercero a **Marte**.

A los caldeos se debe el descubrimiento del **«Período de Saros»**. Este es un período de 18 años 11 días, después del cual los eclipses se repiten en el mismo orden.

En las ruinas de Nínive se han encontrado numerosas inscripciones astronómicas.

3. Los griegos. Los filósofos griegos fueron los que clasificaron los conocimientos astronómicos, que recojieron de los pueblos del Asia. Para conocer la acción que a los griegos cupo en este asunto, habrá que referirse a sus filósofos i matemáticos individualmente.

Thales. Fundó la más antigua de las escuelas filosóficas en Jonia (639-568 a. de J. C.). Fué uno de los siete sabios de Grecia. Afirmaba que la Tierra era redonda i que la Luna carecía de luz propia. Predijo un eclipse de Sol, que se verificó en el momento en que lidios i medos se batían en encarnizada batalla. La verificación del eclipse, puso término a la lucha. Calculó también la época en que tienen lugar los equinoccios i solsticios.

Anaximandro. (611-547 a. J. C.). Supuso la Tierra aislada en el espacio. Según Plinio, a él se debe el descubrimiento de la oblicuidad del zodiaco. Esplicó las causas de las fases lunares.

Anaxímenes. (565-500 a. J. C.). Fué discípulo de Anaximandro. Admitió que el Sol, la Luna i los Planetas están aislados en el espacio; pero los suponía como discos planos, como se creía a la Tierra.

Anaxágoras. Murió hacia el año 428 (a. J. C.) Consideró a la Tierra aislada; pero sostenida por el aire mediante un torbellino que la envolvía i sostenía en el centro del mundo. Suponía a la Luna habitada.

Creía en un sólo Dios, i que el Sol era sólo un globo que no debía adorarse.

Por sus ideas fué condenado a muerte. Pericles lo salvó. Se le desterró a perpetuidad.

Pitágoras. (582-500 a. J. C.). Considerando que el movimiento circular uniforme es el más perfecto de todos, sostuvo que el Sol es el centro del sistema solar, i que alrededor de él jiraban los planetas en órbitas circulares; i que también la Tierra jiraba sobre su eje i alrededor del sol. Estableció que Venus era a la vez estrella matutina i vespertina, en períodos regulares. Suponía los planetas colocados a distancias tales, que correspondían a las notas de la escala musical. Producían así una armonía o concierto musical de las esferas, imperceptible para el oído humano, pero perfectamente sensible para los dioses. Supuso, además, que los planetas estaban habitados.

Hiparco. (Siglo II. a. J. C.). Calculó el largo del año. Descubrió la precesión de los equinoccios. Formó el primer catálogo de las estrellas, con un número que fluctuaba alrededor de 1080. Asignó nombres a las constelaciones.

Hiparco es considerado como el más grande astrónomo de la antigüedad.

4. Los ejipcios. Dos siglos después de Pitágoras, se fundó en Egipto la famosa Escuela de Alejandría, con su rica Biblioteca. Allí floreció **Ptolomeo**, autor del **Almagesto**. Esta obra contiene un resumen de los conocimientos astronómicos de sus antecesores.

Ptolomeo estableció como base i centro del Universo a la Tierra. Alrededor de ella jiraban la Luna, el Sol, los Planetas i las Estrellas.

Es un sistema **geocéntrico**.

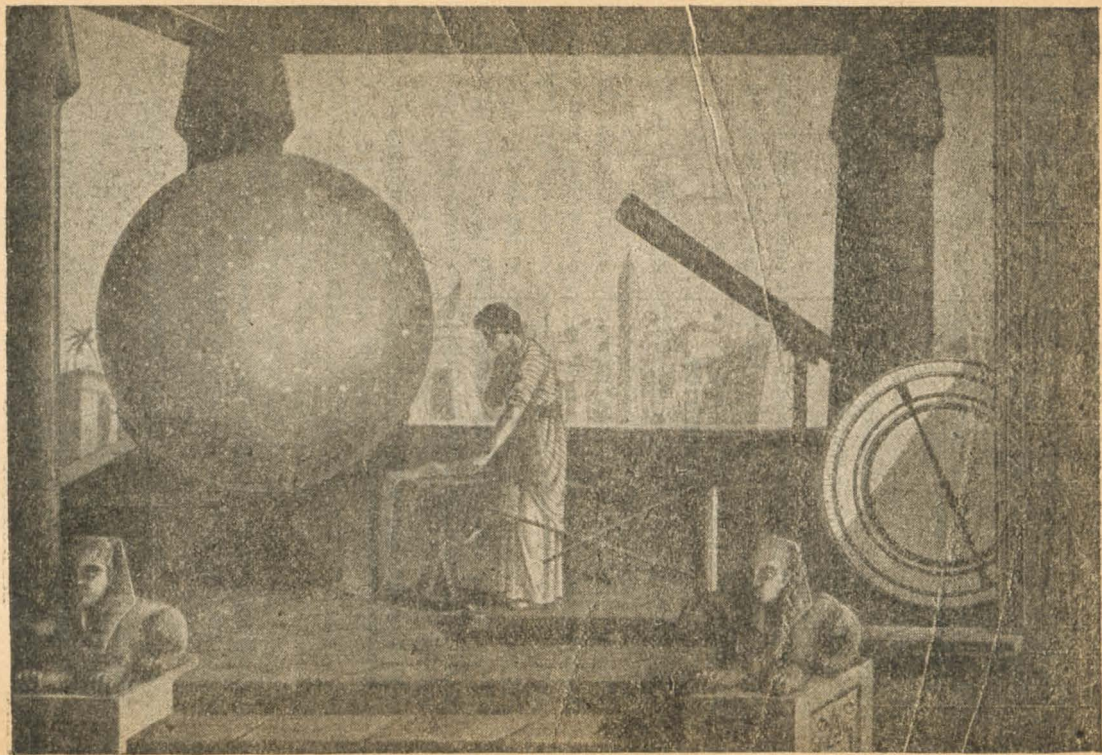
El Almagesto fué, por 14 siglos, el libro de astronomía más completo.

Para explicar los movimientos retrógrados de los Planetas, se inventaron numerosos círculos que complicaron el sistema, hasta tal punto que a **Alfonso de Castilla** se atribuye una frase que se ha hecho célebre: «Si a mí se me hubiera consultado para la creación, habría hecho algo mejor que ésto».

5. Los sarracenos. Destruída la Biblioteca de Alejandría, el estudio de la Ciencia Astronómica se radicó entre los mahometanos. Las teorías filosóficas, las observaciones sobre Astronomía, la literatura i las artes de los griegos, fueron recojidas i hábilmente patrocinadas por los califas mahometanos. Fué así cómo **Bagdad** se convirtió en un centro de cultura intelectual. Este progreso pasó a España, llegando a ser **Córdoba** otro centro de la Ciencia Astronómica.

La Universidad de Córdoba fué célebre.

El papa Silvestre II hizo allí sus estudios sobre los elementos de Astronomía.



Ptolomeo en el Observatorio de Alejandria

La influencia de esta Universidad hizo que se fundara en **Sevilla el primer Observatorio Astronómico, en 1196.**

Con la expulsión de los moros, España dejó de ser el guía de los estudios astronómicos de esa época.

6. Copérnico. El verdadero Sistema Solar.

(1473-1543). Copérnico era polaco. Nació en Thorn, en 1473.

Hasta la época de Copérnico, se enseñaban en Europa los principios contenidos en el Almagesto de Ptolomeo. Era la obra fundamental.

Considerando las dificultades i complicaciones del sistema **jeocéntrico**, i haciendo un estudio detenido de las ideas de Pitágoras i otros filósofos antiguos, llegó, después de mucha labor, a establecer su sistema.

Durante cuarenta años estuvo haciendo sus observaciones en su humilde casa de campo, i en cuyo techo, para ver el cielo, hizo abrir un agujero. Careciendo de instrumentos de observación, él mismo se los fabricaba.

Copérnico fué canónigo de la catedral de Frauenburgo, en Alemania.

Hizo también estudios de medicina.

El sistema de Copérnico establece como centro al Sol. Es por esto un sistema heliocéntrico.

Alrededor del Sol, giran todos los planetas.

Alrededor de los planetas giran las lunas o satélites, fig. 1,



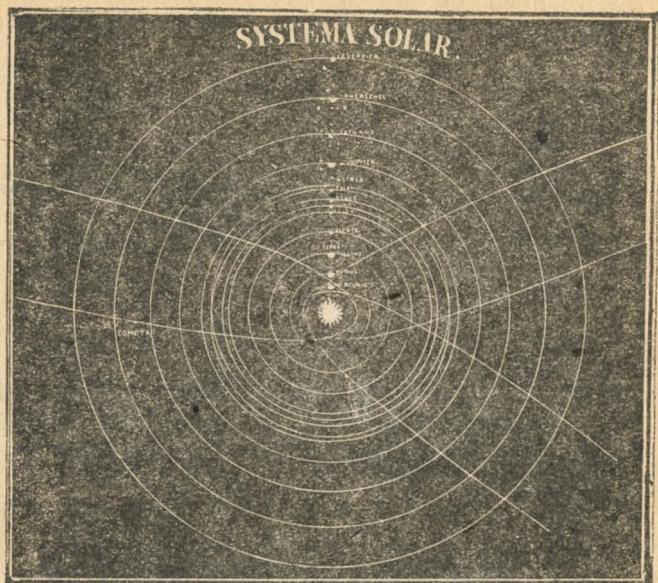


Fig. 1

Alrededor del Sol jiran también los cometas periódicos, de órbitas elípticas; otros se aproximan una vez al sol i se alejan para no volver.

La obra en que Copérnico condensó su Sistema, se titula «**Revoluciones celestes**». Fué dedicada al Papa Paulo III.

Ejemplares de su obra recibió Copérnico poco antes de morir.

Copérnico pensó que las órbitas circulares de los planetas no esplicaban todo el fenómeno de sus movimientos. Este problema fué más tarde resuelto por otro astrónomo.

7. Tycho-Brahé. (1546-1601). Nació en Dinamarca.

Este celebrado astrónomo danés propuso una modificación al Sistema establecido por Copérnico. Como éste, supuso que alrededor del Sol jiran todos los planetas. Pero consideró a la Tierra como el centro, alrededor de la cual jiraba el Sol con todo su cortejo de planetas. Este Sistema está abandonado.

Tycho-Brahé nació el 13 de Diciembre de 1546. Murió en Praga, en Octubre de 1601.

Escribió numerosas obras, i sus trabajos astronómicos son de alta valía.

Sus restos reposan en una de las iglesias de Praga, donde se le erigió un monumento.

8. Galileo. (1564-1642). Nació en Pisa, Florencia, el 18 de Febrero. Se educó en la Uni-

versidad de su pueblo.

Descubrió las leyes del péndulo. Fué profesor de la Universidad donde se educó. Hizo allí notables descubrimientos.

Galileo fué educado en el sistema de Ptolomeo. Un discípulo de la teoría de Copérnico, que llegó a la Universidad de Pisa, logró despertar su interés por este Sistema, dedicándose a él con entusiasmo.

Por esa época un relojero holandés inventó las lentes. Galileo se aprovechó del poder de éstas i se construyó el **primer anteojo astronómico**. Con él descubrió las fases de Ve-



nus i los satélites de Júpiter. Vió las montañas de la Luna, las manchas del Sol i penetró en las profundidades de la **Vía Láctea**.

Con esto, el Sistema de Copérnico quedaba comprobado.

Desde entonces, el geocéntrico sistema de Ptolomeo quedó archivado en el libro de los recuerdos, durmiendo en las noches del pasado.

El primer telescopio de Galileo se conserva en la Academia de Florencia.

Por sus descubrimientos, el Gran duque de Toscana le otorgó, el 10 de Julio de 1610, el título de primer Matemático i Filósofo.

Mucho hai que decir de Galileo, sobre sus trabajos i su vida; mas, la índole de este libro no lo permite. En otra ocasión será.

Murió Galileo el 8 de Enero de 1642, a los 78 años de edad.

9. Képler. Sus leves. (1571-1630). Fué discípulo de Tycho-Brahé.

Las órbitas circulares que Copérnico supuso a los planetas, no satisfacían el sistema. Képler se propuso encontrar entonces la forma exacta de las órbitas de los planetas.



Desde antiguo se creía que las órbitas circulares eran las más perfectas; i que, por tanto, el Creador del Universo habría establecido las órbitas planetarias en tal forma.

Enclavado en esta idea,

Képler empezó por hacer comparaciones rigurosas de las diversas posiciones del planeta Marte, observadas por Tycho-Brahé, con las indicadas por las mejores tablas que pudieron ser confrontadas en la teoría circular. Estas coincidieron por algún tiempo; pero luego se encontró con una diferencia de **ocho minutos** de grado. Képler previó que un astrónomo de la talla de Tycho-Brahé no podía haberse equivocado. Fué entonces cuando exclamó: «Con estos ocho minutos de diferencia, construiremos una nueva teoría que explique el movimiento de los planetas.»

I así fué efectivamente. Sus leyes establecen el movimiento de los planetas.

Convencido de que las órbitas circulares no armonizaban las comparaciones, construyó una elipse. Colocó al Sol en el centro, i observó al planeta Marte en su movimiento. Las diferencias habidas eran también notables.

Képler no desmayó. Volvió a la tarea, colocando al Sol en uno de los focos de la elipse. Siguiendo esta curva, observó al planeta durante un año. ¡Ya no hubo diverjencias! Había encontrado lo que buscaba. I en 1609 anunció al mundo su

I. Lei. Los planetas describen órbitas elípticas. El Sol ocupa uno de los focos, que es común a las órbitas de todos los planetas.

Había observado Képler que los planetas no se mueven con igual velocidad en las distintas posiciones de sus órbitas.

Con este antecedente, volvió a marcar en una elipse las diferentes posiciones del planeta Marte, en el curso de su movimiento. Encontró que se movía más rápidamente cuando se encontraba en su **perihelio**, que es el punto en que más cerca se halla del Sol; i que su movimiento era más lento en el **afelio**, o sea en el punto

t , el tiempo de la revolución de Marte,
 d , la distancia media de Marte al Sol,

i por

t' el tiempo de la revolución de Júpiter
 d' la distancia media de Júpiter al Sol, se tiene:

$$t^2 : t'^2 = d^3 : d'^3$$

En un período de diez años, Képler llegó a fundar su tercera lei, que indudablemente es la más importante.

Ella permite calcular la distancia de un planeta al Sol, considerando como unidades el tiempo i la distancia que corresponden a la Tierra.

Entusiasmado Képler por el descubrimiento de sus leyes tan sencillas, como simples i sencillas son las leyes de la naturaleza, exclamó con júbilo: «Nada me detiene. El dado está echado. El libro está ya escrito para que sea leído por la posteridad; no importa cuándo. Puede mui bien esperar un siglo a un lector, puesto que Dios ha esperado 6000 años a un observador.»

Nació Juan Képler el 27 de Diciembre de 1571, en Masgtatt, cerca de Weil, en Wurtenburgo.

En 1589 fué profesor de Astronomía, i en 1593 profesor de Matemáticas i de Moral en Graetz.

Murió a los 59 años de edad, el 15 de Noviembre de 1630. Fué sepultado en la iglesia de San Pedro, en Ratisbona.

En su epitafio, que él mismo dejó escrito para que se le colocara, se lee:

«He medido los cielos, i ahora las sombras de la Tierra.

La inteligencia es celeste, i aquí sólo reposa la sombra de los cuerpos.»

10. Newton. Su lei de gravitación universal.

(1642-1727). Por sus descubrimientos en Matemáticas, en Astronomía i en Física, Newton es considerado como el más grande de los jénios científicos que jamás haya existido.

Su principio sobre la gravitación Universal lo ha hecho inmortal.

Su obra «Principios Matemáticos de la filosofía natural», contiene estudios e investigaciones de la más alta transcendencia.

Viendo un día caer una manzana de un árbol, pensó si la fuerza que la hacía caer podría también ser aplicable a distancias más lejanas, fuera de la órbita de atracción de la Tierra. Porque la pesantez es la misma, con cortas diferencias, sea que se la considere en las cumbres de las más altas montañas, o en las simas más profundas. I así pensando, supuso que tal vez la Luna, podía jirar alrededor de la Tierra por la combinación de la pesantez i de su propio movimiento.

Si un cuerpo es puesto en movimiento, éste continúa en línea recta, si una nueva fuerza no lo desvía. En los espacios siderales no hai roce. Los planetas no pierden nada de su velocidad inicial. Luego deberían moverse en línea recta i no en órbitas elípticas. ¿Cuál es la causa de esta curva?

Si se lanza una piedra en el aire, ésta no se mueve en línea recta. Describe una curva; la resistencia del aire disminuye su velocidad i actúa la gravedad. Así raciocinando, basándose en las leyes de Képler, i apli-



Newton

cando el cálculo matemático, llegó a establecer su lei fundamental de gravitación, que constituye la base de la Mecánica celeste:

La materia atrae a la materia, en razón directa de las masas i en razón inversa del cuadrado de la distancia.

Isaac Newton nació el 25 de Diciembre de 1642, en Woolsthorpe, condado de Lincoln, en Inglaterra.

En 1669 fué nombrado profesor de Matemáticas de la Universidad de Cambridge. Desempeñó en seguida otros cargos, que no hai para qué enumerar en esta reseña.

Murió el 22 de Marzo de 1727, a los $84\frac{1}{4}$ años de edad. Sus restos reposan en la Abadía de Westminster.

II

Definiciones.

§ 1. Movimiento diurno. Llámase movimiento diurno, el movimiento que efectúa la Bóveda celeste, diariamente, de oriente a occidente. Este movimiento se efectúa en 24 horas. Es un movimiento aparente. Se debe al movimiento de rotación de la Tierra de occidente a oriente.

§ 2. Movimiento retrógrado i directo. Llámase movimiento **retrógrado**, el que se verifica en el mismo sentido en que se efectúa el movimiento diurno de la Bóveda celeste, de oriente a occidente.

Llámase movimiento **directo**, el que se efectúa en sentido contrario al en que se verifica el movimiento diurno de la Bóveda celeste, de occidente a oriente.

§ 3. Leyes del movimiento diurno. En el capítulo I se ha

dicho que todas las estrellas salen por el oriente. Para un mismo punto de observación, éstas salen siempre por un mismo punto i se ponen siempre también en un mismo punto.

Si el observador cambia de lugar, en una distancia apreciable, los puntos de salida i puesta de ellas también varían.

1.) Las trayectorias de las estrellas son siempre circulares: **el movimiento es circular.**

2.) Las trayectorias que describen las estrellas son paralelas: **el movimiento es paralelo.**

3.) Todas las estrellas demoran 24 horas en describir sus trayectorias: **el movimiento es isócrono.**

4.) Cada estrella describe en su trayectoria arcos iguales en tiempos iguales: **el movimiento es uniforme.**

§ 4. Ejes i polos. Si la Bóveda celeste gira en 24

horas de oriente a occidente, puede imaginarse una recta alrededor de la cual se efectúa este movimiento. Esta recta es el eje del mundo.

Eje del mundo, es la recta alrededor de la cual parece girar la Bóveda celeste en su movimiento diurno.

Polos del mundo, son los puntos en que el eje del mundo penetra en la Bóveda celeste.

Eje de la Tierra, es la parte del eje del mundo interceptado por la Tierra.

No debe, entonces, pensarse que el eje del mundo i el de la Tierra son cosas totalmente diversas.

Polos de la Tierra, son los puntos en que el eje del mundo perfora a la Tierra.

En la fig. 3 se tiene:

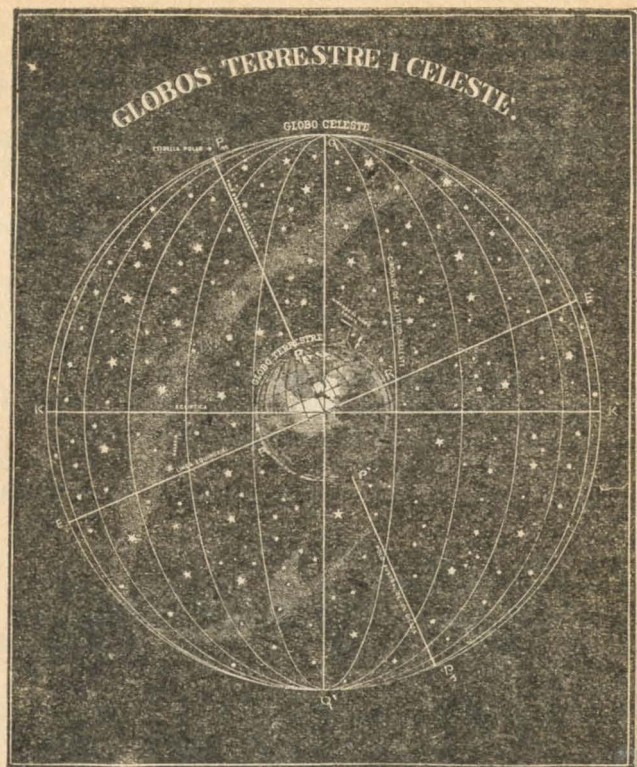


Fig. 3

$P_n P_s$ es el eje del mundo.
 $P P'$ es el eje de la tierra.
 $P_n^* i P_s$ son los polos del mundo.
 $P i P'$ son los polos de la tierra.

§ 5. Vertical, Cenit i Nadir. **Vertical** de un punto de la Tierra, es la prolongación del radio terrestre en el punto de observación. Esta dirección coincide con la que toma el **hilo a plomo**.

Supóngase que A es un punto de la Tierra, T , i AT un radio. La vertical del punto A es la recta CN , fig. 4.

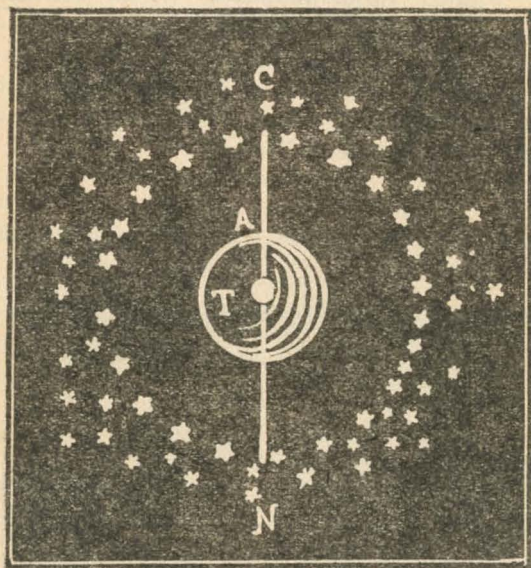


Fig. 4

Tratándose de la magnitud inmensa del Universo, las espresiones arriba i abajo no son aceptables; pero adaptadas a nuestro lenguaje, para entendernos, supongamos que el punto C sea un punto de la parte

superior de la Bóveda celeste i *N* el inferior. Estos puntos se llaman cenit i nadir.

Cenit, es el punto en que la vertical penetra en la Bóveda celeste, por la parte superior.

Nadir, es el punto en que la vertical penetra en la Bóveda celeste, por la parte inferior.

§ 6. Planos fundamentales. Otras definiciones.

Un plano puede representarse por una recta, si se supone que se le mira de canto, es decir de perfil, como una hoja de papel que se mira abarcando sólo el grosor.

Plano del horizonte, es el plano perpendicular a la vertical en el punto de observación.

Este plano se considera en tres posiciones diferentes: 1) Si el plano pasa por el centro de la Tierra, se le designa con el nombre de horizonte **geocéntrico**: HJ, fig. 5.

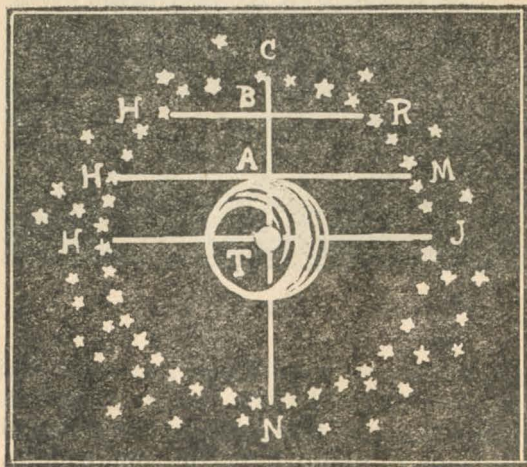


Fig 5

2) Si el plano es tanjente a la Tierra, se le designa con el nombre de Horizonte **matemático**: *HM*.

3) Si el plano pasa a cierta altura de la superficie del suelo, como sería si un observador se elevara a 3000 metros, por ejemplo, en un aeroplano, el horizonte se designa con el nombre de **racional**: *HR*.

Mirada la Tierra desde las estrellas, ésta se reduce a un punto. Entonces los tres horizontes se confunden. Esto supuesto, puede establecerse que el Plano del Horizonte divide a la esfera celeste en dos hemisferios: **visible e invisible**.

El eje del Plano del Horizonte, es la vertical.

Los polos del Plano del horizonte, son el Cenit i el Nadir.

Considerando la Tierra como un punto *O*, i dibujando el plano del horizonte, éste está representado por el plano *HAH'*, fig. 6.

El Cenit *C* dista 90° del Plano del horizonte.

Círculo vertical, es todo plano que pasa por la vertical. *CHNH'* es un círculo vertical.

Círculo vertical de un astro, es el círculo que pasa por el astro i la vertical. Siendo *S* el Sol, el círculo vertical de este astro es el plano *CSAN*.

Rayo visual, es todo rayo que parte del ojo del observador. Suponiendo al observador en *O*, la recta *OS* es un rayo visual.

La recta *OA* es la proyección de este rayo visual sobre el Plano del horizonte: es una recta horizontal, por estar situada en dicho plano.

Altura de un astro, es el ángulo formado por la visual dirigida al astro i la proyección de esta visual sobre el Plano del horizonte.

La altura del astro *S*, fig. 6, es el ángulo *AOS*. Se mide sobre el círculo vertical, a partir del horizonte.

Distancia cenital de un astro, es el ángulo formado

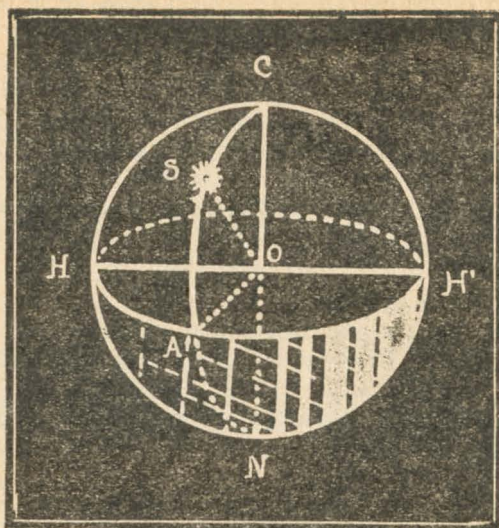


Fig. 6

por la vertical del punto de observación, i la visual dirigida al astro.

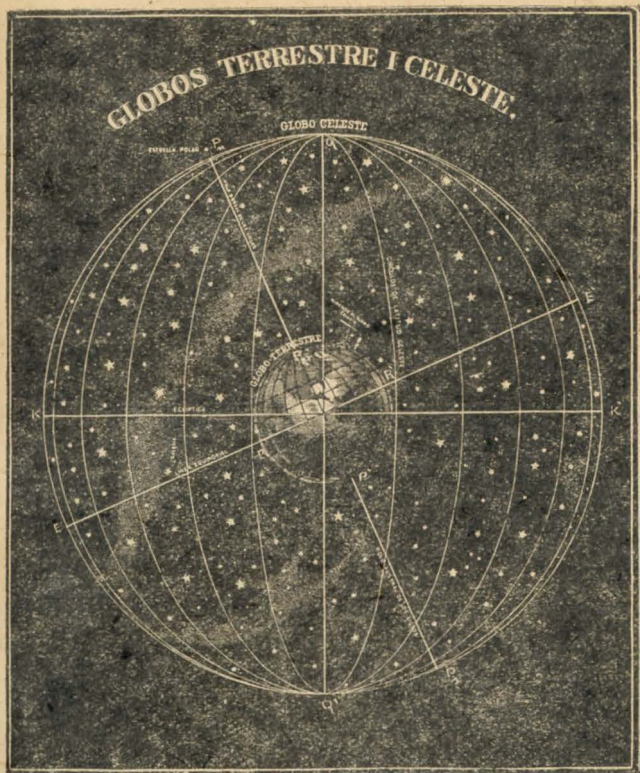
La distancia cenital del astro S, es el ángulo SOC . También se mide sobre el círculo vertical del astro. La distancia cenital la representaremos por z i la altura por h .

La distancia cenital i la altura de un astro son ángulos complementarios: $h = 90^\circ - Z$

$$Z = 90^\circ - h$$

Ecuador celeste, o simplemente Plano del Ecuador, es el plano perpendicular del Eje del mundo. La recta EE' , fig. 3, es el Plano del Ecuador celeste.

El Ecuador celeste, divide a la Bóveda en dos hemisferios: **boreal** i **austral**.



Los polos del mundo P_n i P_s distan 90° del Plano del Ecuador.

Paralelos celestes, son los círculos menores paralelos al Plano del Ecuador.

Ecuador terrestre, es el plano perpendicular al eje de la Tierra, pasando por su centro. Es un círculo concéntrico con el Ecuador celeste.

La recta RR' , fig. 3, representa el Ecuador terrestre.

El Ecuador terrestre divide también a la Tierra en dos hemisferios: **boreal i austral.**

Paralelos terrestres, son los círculos menores paralelos al Ecuador de la Tierra.

Meridianos celestes, son los planos que pasan por los polos del mundo. En la fig. 3 el círculo P_nEP_sE' es un plano meridiano.

Un plano meridiano divide a la Bóveda celeste en dos hemisferios: **oriental i occidental.**

Meridianos terrestres, son los planos que pasan por los polos de la Tierra. Cada meridiano terrestre divide también a la Tierra en dos hemisferios: **oriental i occidental.**

En el diagrama de la fig. 3, las líneas negras trazadas en el globo del centro indican cuáles son los paralelos i meridianos terrestres.

Eclíptica, es la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol.

Pero a nosotros nos parece que no es la Tierra la que se mueve, sino el Sol. Por eso se la define, también, *diciendo que es la trayectoria aparente del Sol en el curso de un año. Esta trayectoria se proyecta en la esfera celeste en forma de una circunferencia.*

Plano de la Eclíptica, es el plano determinado por la Eclíptica. En la fig. 3, la recta KK' representa el plano de la Eclíptica.

Eje de la Eclíptica, es la recta perpendicular a dicho plano. La recta QQ' es el eje, fig. 3.

Polos de la Eclíptica, son los puntos en que el eje de este plano penetra en la Bóveda celeste.

Los puntos Q i Q' son los polos de la Eclíptica.

Observando el dibujo de la figura 3, se ve que el plano del Ecuador no coincide con el plano de la Eclíp-

tica. Forman un ángulo diedro, cuya medida es el ángulo rectilíneo EOK . El punto O está en el centro.

Oblicuidad de la Eclíptica, es el ángulo diedro formado por los planos del Ecuador i de la Eclíptica. Este ángulo no es constante. Varía, debido a un fenómeno que se llama **Precesión de los Equinoxios**.

El valor actual del ángulo de la Oblicuidad de la Eclíptica es de $23^{\circ} 27'$.

Los polos del mundo distan de los polos de la Eclíptica también por $23^{\circ} 27'$.

Se ha demostrado que nunca el plano del Ecuador podrá coincidir con el plano de la Eclíptica.

Círculos de latitud, son los círculos que pasan por los polos de la Eclíptica. Obsérvese el diagrama de la fig. 3 e invéstiguese cuáles son.

Representemos ahora en otra forma los planos del Ecuador i de la Eclíptica, para poder explicar con claridad otros conceptos.

Sea el dibujo, fig. 7.

El plano $E \gamma E'$ es el Ecuador. P_n i P_s son los polos del mundo.

El plano $K \gamma K'$ es el plano de la Eclíptica. Q i Q' son sus dos polos.

La curva que determina el Plano de la Eclíptica corta al Plano del Ecuador en **dos puntos**. Son γ i ω (Aries i Libra). Estos puntos se llaman equinoccios. Indíquese ω en el dibujo 7.

Equinoccios, son los puntos en que la Eclíptica corta al plano del Ecuador.

γ es el equinoccio de Aries.

ω es el equinoccio de Libra.

Solsticios, son los puntos de la Eclíptica más lejanos del plano del Ecuador.

Los puntos K i K' son los solsticios. Se les llama solsticios de **Capricornio** i de **Cáncer**.

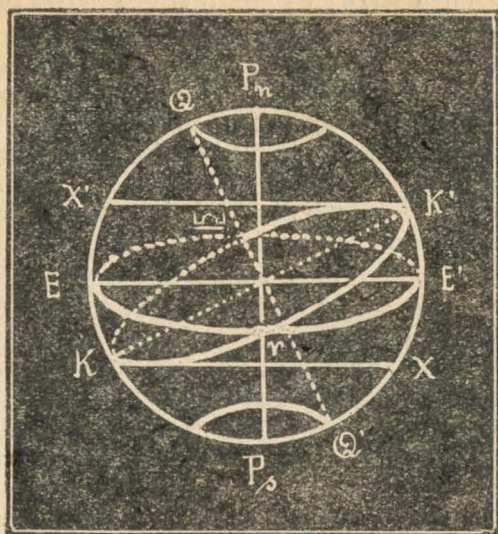


Fig. 7

K es el solsticio de Capricornio; corresponde al hemisferio austral. K' es el solsticio de Cáncer; corresponde al hemisferio boreal.

Si por los dos solsticios se hacen pasar dos planos paralelos al Ecuador, éstos reciben el nombre de trópicos.

Trópicos, son dos planos paralelos al plano del Ecuador, i que pasan por los solsticios.

El plano KX es el trópico de Capricornio, que pasa por el solsticio del mismo nombre.

El plano K' X', que pasa por el solsticio de Cáncer, es el trópico de Cáncer. Como cada uno de los solsticios dista $23^{\circ} 27'$ del plano del Ecuador, se sigue

que los trópicos tienen igual distancia de dicho plano.

Los dos trópicos distan entre sí por $46^{\circ} 54'$.

Si por los polos de la Eclíptica se trazan otros dos planos paralelos al plano del Ecuador, éstos reciben el nombre de **círculos polares**. La amplitud de cada uno de estos círculos es también de $23^{\circ} 27'$, puesto que los polos de la Eclíptica distan de los polos del mundo por igual magnitud. Obsérvese el dibujo anterior, fig. 7. Los paralelos que pasan por Q i Q' son los círculos polares.

Los trópicos celestes cortan a la Tierra. Los círculos resultantes reciben las mismas denominaciones. Igual cosa pasa con los círculos polares.

III

Coordenadas.

Antes de entrar al estudio de esta materia, es preciso desarrollar algunas cuestiones que tienen directa relación con ellas.

§ 1. Posiciones de la esfera. En el § 7 del capítulo I, se ha hablado ya de las trayectorias aparentes de las Estrellas.

La forma en que estas trayectorias cortan al plano del Horizonte, no es igual para todos los puntos de la Tierra. Añadiremos:

1. Para un observador situado en un punto del plano del Ecuador terrestre, las trayectorias de las Estrellas cortan perpendicularmente al plano del Horizonte. Por esta particularidad, la posición de la **Esfera es recta**, fig. 8.

En esta posición de la Esfera, el Eje del mundo se sitúa sobre el plano del Horizonte,

La vertical se sitúa también sobre el plano del Ecuador.

Un observador verá toda la Bóveda estrellada del hemisferio visible, de polo a polo. I en el curso de un año desfilarán ante su vista todas las estrellas de nuestro sistema estellar.

Como las estrellas salen, culminan i se ponen, el Horizonte divide a sus trayectorias en dos partes iguales.

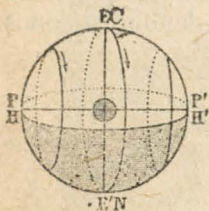


Fig. 8

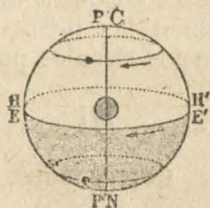


Fig. 9

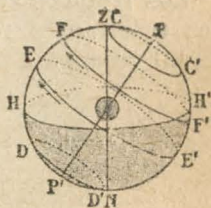


Fig. 10

2. Si el observador está en uno de los polos de la Tierra, en el Polo Sur, por ejemplo, ya no verá todas las estrellas de polo a polo. Verá únicamente las del hemisferio Sur. Las del hemisferio boreal son para él totalmente invisibles. I cosa curiosa: las estrellas no salen ni se ponen. Están perpetuamente visibles. Describen trayectorias paralelas al Horizonte.

Por esto la posición de la **Esfera es paralela**, fig. 9. En esta situación, el plano del Horizonte coincide con el plano del Ecuador, i la vertical con el eje del mundo.

3. Si el observador está situado entre el Ecuador i el Polo, las trayectorias de las Estrellas cortan oblicuamente al Horizonte. Por eso la posición de la **Esfera es oblicua**, fig. 10.

El Horizonte no divide en partes iguales a las tra-

vectorias de las Estrellas que salen i se ponen, como puede verse en las que corresponden a las estrellas E i F del dibujo, fig. 10. El arco nocturno es menor que el diurno, que está sobre el Horizonte.

Todavía: en esta posición hai estrellas que ni salen ni se ponen. Describen sus trayectorias sobre el Horizonte, sin ser paralelas con dicho plano. Tal acontece con la estrella C, de la fig. 10. Otras hai perpetuamente ocultas para el observador, situadas bajo su Horizonte, como sucede con la estrella D del mismo dibujo 10.



Fig. 11

§ 2. Estrellas circumpolares. Llámanse Estrellas circumpolares las que no se ocultan nunca. Ejemplo: la estrella C, fig. 10.

Los centros de todas las trayectorias de las Estrellas están sobre el Eje del mundo. En consecuencia, para la Esfera recta no hai Estrellas circumpolares. Todas salen i se ponen. Pero ellas aumentan del Ecuador al Polo, cuando cambia el punto de observación.

Para el horizonte de Santiago de Chile, el radio de la zona circumpolar tiene una amplitud de $33^{\circ} 27'$, que es la altura del Polo Sur sobre su Horizonte.

Para la Esfera paralela, la zona circumpolar corresponde a un Hemisferio completo.

La hermosa constelación de la Cruz del Sur, es circumpolar para el Horizonte de Santiago. Es mui fácil distinguirla, pues forma una cruz, cerca de las preciosas estrellas α i β de la constelación del Centauro, fig. 11.

Las Estrellas se designan por letras griegas o por números; algunas por nombres especiales, como se verá más adelante.

§ 3. Determinación del plano del meridiano de un lugar. Para determinar el plano del meridiano de un lugar, es preciso disponer de un **teodolito**.

Este instrumento, en su parte esencial, se compone de un anteojo L L', fig. 12, movable en torno de un eje horizontal B. Este eje está fijo en el centro de un círculo graduado C, perpendicularmente al plano de este círculo.

Todo este conjunto está sostenido por un eje vertical B A, que puede jirar, conservando su posición vertical. Una aguja A D, horizontal, i situada en el mismo plano vertical del círculo C, jira al

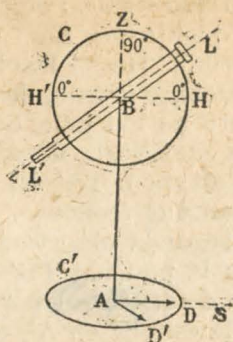


Fig. 12

hacer jirar el conjunto C A. El desplazamiento angular de la aguja A D, se mide en un círculo C', graduado i fijo, colocado horizontalmente.

Sea A una estrella, cuya trayectoria es E A C O fig. 13. Se la observa primero hacia el oriente con el teodolito. La altura h , que se lee en el círculo vertical del instrumento, (fig. 13, de la izquierda), es igual al ángulo DTA, que es la altura de la estrella sobre su

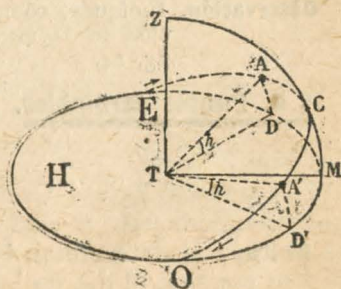
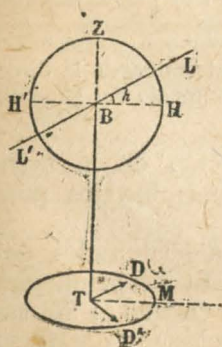


Fig. 13

Horizonte H. El círculo vertical de la estrella está determinado en el teodolito por ZT i la aguja TD, (dibujo de la izquierda). Hecha la observación, la estrella, por su movimiento diurno, desaparece del campo del anteojo. Pero no hai para qué seguirla en su movimiento. Basta observarla después hacia el occidente, i cuando la altura D'TA' del astro sea igual a la altura h que marca el teodolito. Al hacer jirar el anteojo para esta segunda observación, la aguja TD ha jirado i tomado la posición TD' (dibujo de la izquierda). El plano determinado por ZT i TD' es el círculo vertical de la estrella en A', en la segunda observación. La bisectriz TM del ángulo DTD', i ZT, determinan el plano del meridiano del lugar. Cualquiera otra observación que se haga con otra estrella, dará el mismo plano.

Este procedimiento para determinar el plano del meridiano de un lugar, se llama método de las **alturas correspondientes**.

La recta TM representa la Meridiana.

Llámacse **Meridiana**, la intersección del plano del meridiano del lugar con el plano del Horizonte.

El plano del Meridiano del lugar, i el plano del Horizonte, son perpendiculares.

Observación. Indíquese cómo puede determinarse la dirección de la meridiana por medio del gnomon, fig. 14.

§ 4. Puntos cardinales. La dirección de la meridiana determina los puntos Sur i Norte.

Los puntos Este i Oeste están determinados por una perpendicular a esta recta. Esta perpendicular es **única**, i la determinan los puntos en que el Sol sale i se pone en el día de los equinoccios (21 de Marzo i 21 de Setiembre). Es la línea Este Oeste.

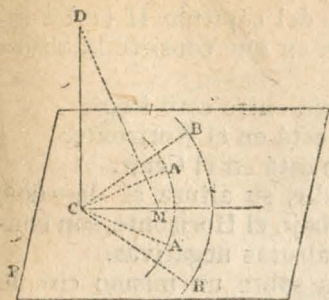


Fig. 14

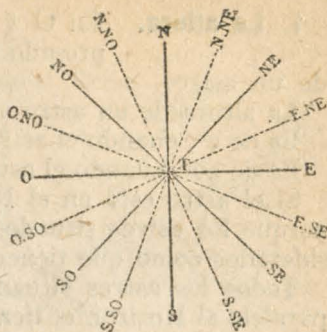


Fig. 15

Fuera de estos cuatro puntos cardinales, hai otros intermedios colaterales, i que están marcados en un instrumento que se denomina **Rosa de los vientos**, tan usada en la navegación, para dirigir el rumbo de los buques, con auxilio de la brújula.

Léanse los puntos colaterales indicados en el dibujo de la fig. 15.

§ 5. Sistema horizontal de coordenadas. La abscisa i la or-

denada, que fijan la posición de un punto en el plano, son **rectas**.

Los elementos que fijan la posición de un punto en el espacio o en la Tierra, son **ángulos**.

El sistema horizontal, tiene por plano fundamental el plano del horizonte jeocéntrico.

Las coordenadas de este sistema se llaman **altura** i **azimut**.

1. La altura. En el § 6 del capítulo II se ha expresado ya en qué consiste la altura de un astro.

La altura de un astro varía entre cero i 90° .

Es de 0° , cuando el astro está en el Horizonte.

Es de 90° , cuando el astro está en el Cenit.

Si el astro está en el Nadir, su altura es de -90° , porque los astros situados bajo el Horizonte, son considerados como que tienen alturas negativas.

Todos los astros situados sobre un mismo círculo paralelo al Horizonte, tienen la misma altura.

La altura que se observa en un astro, no es la real o verdadera. Es una altura aparente.

Para obtener la altura verdadera, es preciso hacer algunas correcciones fundamentales. Estas correcciones son de dos clases: una se debe a la refracción, i otra a la paralaje.

Refracción. Es el desvío que sufre un rayo luminoso al pasar de una capa de aire menos densa a otra más densa.

La causa de la refracción, es el aumento de la densidad de las capas atmosféricas.

La refracción es máxima en el Horizonte i desciende a medida que el astro se aproxima al Cenit.

En el Cenit la refracción es nula. Es igual a cero.

Para explicar el proceso de la refracción, supongamos un observador en O i sólo dos capas atmosféricas I i II, fig. 16.

Un rayo SA del Sol, si la capa I atmosférica no existiera, seguiría la dirección SAI. Pero, al encontrarse con la resistencia del aire, se quiebra, aproximándose a la normal del punto A. Toma entonces la dirección AN. Pero este rayo encuentra a la capa II en B. Sufre aquí un nuevo desvío. Se aproxima a la

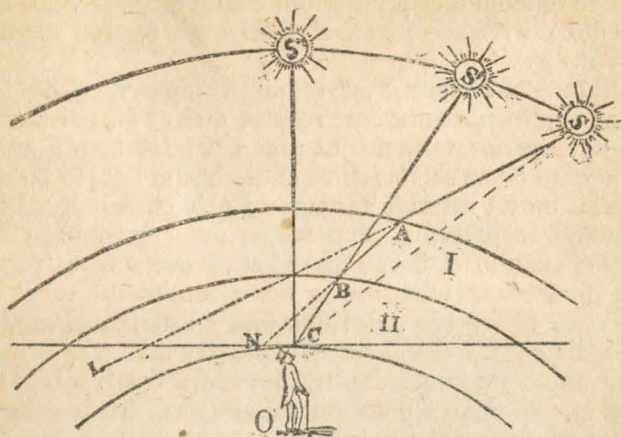


Fig. 16

normal del punto B, tomando la dirección BC. El observador en O ve así el Sol en S', en vez de S, que es su posición real, en el instante de la observación. Naturalmente, la línea quebrada SABC es, en realidad, una curva, ya que el número de capas que el rayo CA atraviesa es enorme, dada la altura de la atmósfera i el escaso grosor que debemos asignar a cada una de las capas.

Entiéndese por **normal**, del punto A, la recta que va desde A al centro de la Tierra; i es perpendicular a la tangente del punto A.

El valor del ángulo de refracción SCS', no es constante. El poder refranjible del aire depende de su densidad. I ésta es variable. En consecuencia, no hai leyes que determinen cómo varía el ángulo de refracción, desde el Horizonte al Cenit. Sin embargo, el célebre astrónomo Laplace ha construido tablas aproximadas,

que se refieren a esta cuestión. Según ellas, el valor del ángulo de refracción en el Horizonte fluctúa alrededor de 33'.

Ahora bien: como el diámetro aparente del Sol tiene también este valor, resulta que el Sol, al ser su borde superior tanjente al plano del Horizonte en el momento de su salida, se ve el disco sobre el Horizonte con su borde inferior tanjente a este plano. Igual fenómeno se presenta al ponerse; pero en sentido inverso: cuando el borde superior es tanjente al plano del Horizonte, el disco solar se ve totalmente sobre él.

Como la refracción es máxima en el Horizonte, el diámetro vertical del Sol disminuye, mientras que el horizontal permanece sensiblemente igual. De aquí por qué el Sol se deforma en el Horizonte.

Lo mismo pasa con la Luna.

Obsérvese el dibujo de la fig. 17.

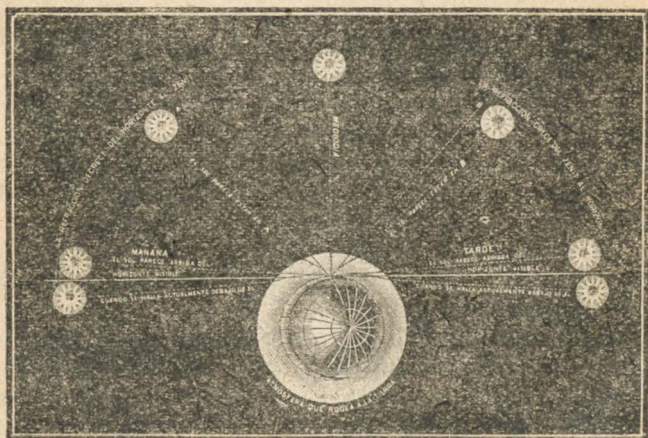


Fig. 17

i fíjese su posición con relación a un punto cualquiera. Míresele sólo con un ojo. Ciérrese éste i míresele con el otro. Se le verá en posiciones diversas. Tal es el fenómeno de la paralaje.

Esta experiencia tan sencilla, hagámosla extensiva a la luna, fig. 18.

Un observador que la mira desde el Horizonte, la ve proyectarse en C. Otro que la observa en el mismo instante i que la tiene en el meridiano, la ve proyectarse en D.

Las posiciones son diferentes.

Los astrónomos han referido la posición de un astro al centro de la Tierra. Es decir, se le considera en su **posición verdadera**, en el supuesto de que se le observe desde el centro del planeta.

Observado desde la superficie, está en su **posición aparente**.

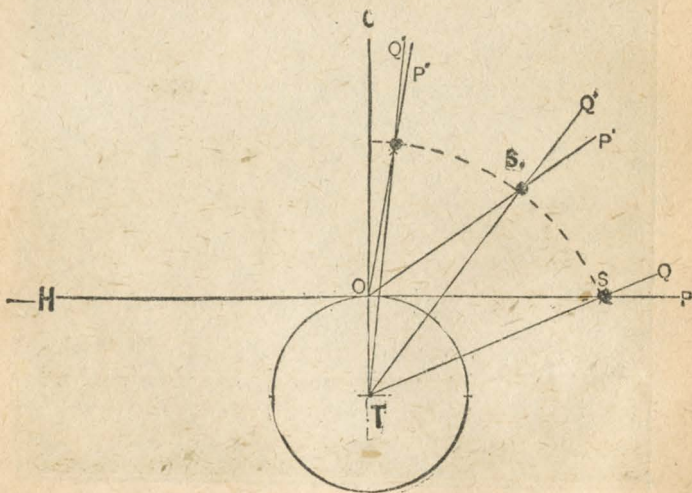


Fig. 19

Un astro S, visto desde O fig. 19; se ve en la dirección OP; visto desde T, se le ve en Q.

Cuando asciende, se le ve en las direcciones OP' i TQ'. Más elevado, se le ve en las direcciones OP'' i TQ''. En el Cenit ambas direcciones se confunden.

Observando el dibujo, se ve que el ángulo que establece la diferencia de posición del astro, decrece hacia el Cenit, hasta anularse. Luego la paralaje es máxima en el Horizonte i nula en el Cenit.

Cuando el astro está en el Horizonte, la paralaje es **horizontal**.

Es de **altura** cuando está sobre él.

Consideremos la posición del astro en S'. Para el observador en O la distancia cenital es el ángulo COP'. Si el observador estuviera en T, sería el ángulo CTQ'. El primer ángulo es mayor, por el ángulo Q'S'P'=OS'T. Luego para el observador en O, el astro se ha alejado del Cenit por una cantidad igual a la paralaje.

Dedúcese de aquí que habrá que agregar el valor de la paralaje para obtener la altura real:

$$H_v = H_o - V_r + V_p.$$

La paralaje horizontal del punto S es el ángulo OST. O sea: es el ángulo bajo el cual se vería el radio de la Tierra visto desde el centro del astro.

Esto es con respecto a los astros que forman el sistema planetario.

Con respecto a las Estrellas, la Tierra no se ve. Se considera entonces el semi-eje mayor de su órbita.

Esta es la paralaje anual de las Estrellas. Las observaciones se hacen con seis meses de diferencia, a fin de que la Tierra se encuentre en dos puntos opuestos de su órbita.

La paralaje de un astro es tanto más grande cuanto más cerca está de la Tierra. La paralaje media de la Luna es de $57' 40''$. La del Sol es de $8,8''$.

2. El azimut. Azimut de un astro, es el ángulo diedro formado por el círculo vertical del astro, i el plano del meridiano del lugar.

Sea la fig. 20.

El círculo vertical del astro A, es CAN. Suponiendo que el círculo CFN represente al plano del meridiano del lugar, el azimut sería el diedro ECNF. Este diedro se mide por el rectilíneo FTE, sobre el plano del Horizonte.

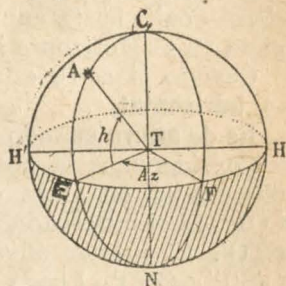


Fig. 20.

Los azimutes varían de 0° a 360° , i se acostumbra contarlos a partir del punto Sur, en la dirección SONE.

El azimut del astro A, fig. 20 determina el círculo vertical CAN. Sobre este círculo se encuentra el astro.

La altura ETA, fija la posición exacta de él.

Para un mismo astro, el azimut i la altura varían con el tiempo, a causa del movimiento diurno.

También varían con el lugar, porque cada punto tiene su vertical i su Horizonte propios. De aquí por qué el sistema horizontal tiene algunos inconvenientes.

Los azimutes se miden con el teodolito. Para esto se dirige el anteojo hacia el punto Sur del Horizonte tomado como oríjen, fig. 12. Queda así determinada la posición de la aguja AD. Se enfoca ahora la estrella. La aguja AD gira ahora desde su posi-

ción primera. Si toma la posición AD' , por ejemplo, el azimut del astro está determinado por el ángulo DAD' , que se mide por el arco DD' del círculo graduado. La altura la da el ángulo LBH en el círculo C , también graduado, del aparato.

Ejercicios.

1. La altura de un astro es 30° . ¿Cuál es su distancia cenital? 60°

2. La distancia cenital de un astro es $48^\circ 35' 50''$. ¿Cuál es la altura?

3. Un astro se encuentra a 15° bajo el horizonte. ¿Cuánto dista del Cenit i cuánto del Nadir?

4. La altura de un astro es 18° . ¿Cuál es su distancia cenital?

5. Una estrella se encuentra en el Cenit. ¿Cuál es su altura? ¿Cuánto dista del Nadir?

6. Una estrella dista 90° del Cenit. ¿En qué plano se halla?

7. La altura de una estrella es de $15^\circ 15'$, i la de otra situada en el mismo plano vertical, en el mismo instante, es de $25^\circ 25'$. ¿Cuál es su distancia angular?

8. La distancia cenital meridiana de una estrella es 35° i la de otra, en el mismo momento i en el mismo meridiano, es de $33\frac{1}{2}^\circ$. ¿Cuál es su distancia angular?

9. Una estrella está a 90° de altura. ¿Sobre qué recta está situada?

10. La altura de un astro es 0° . ¿Sobre qué plano se halla?

11. El azimut de un astro es 0° . ¿Hacia qué punto está situado?

12. Un astro está situado en el plano meridiano, hacia el hemisferio boreal. ¿Cuál es su azimut?

13. El azimut de un astro es de 90° . ¿En qué punto está situado?

14. ¿Dónde estará situado un astro, si su azimut es de 270° ?

15. ¿Qué amplitud tiene la zona circumpolar, para un observador situado en el trópico de Capricornio?

16. La altura meridiana del Sol, en un punto dado, es de $80\frac{1}{2}^\circ$. ¿Cuál es su distancia cenital?

17. La distancia cenital meridiana de una estrella, vista al norte del Cenit de Santiago, es de $13^\circ 30'$, ¿Cuánto dista del punto sur del Horizonte, midiendo la distancia sobre el arco del meridiano?

18. La distancia cenital meridiana de una estrella, vista al sur del Cenit de Santiago es de 5° . ¿Cuánto dista del punto norte del Horizonte, medido en igual forma?

19. El azimut de un astro es de 360° . ¿Hacia la dirección de qué punto cardinal deberá encontrarse?

§ 6. Sistema Ecuatorial de coordenadas. Este sistema es independiente del plano del Horizonte. No tiene, por consiguiente, los inconvenientes del sistema Horizontal.

El plano fundamental del Sistema Ecuatorial, es el plano del Ecuador.

Las coordenadas se llaman **Ascensión Recta** (AR) i **Declinación** (D).

Llámase **círculo horario** de un astro, al meridiano que pasa por el astro. Este círculo se mueve con el Sol, sale, pasa por el meridiano del lugar, se pone

con él. En 24 horas da con el astro una vuelta completa a la Bóveda celeste.

Siendo A un astro, fig. 21, el círculo PAP' es un círculo horario.

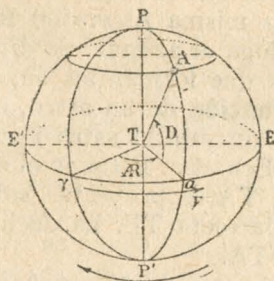


Fig. 21

Se ha explicado ya que equinoccios son los puntos en que la Eclíptica corta al plano del Ecuador. Para mayor claridad del dibujo, no dibujemos la Eclíptica i supongamos que γ es el punto equinoccial de Aries. El círculo $P\gamma P'$ es el círculo horario que pasa por Aries. Este círculo se mueve también junto con el equinoccio; i en 24 horas da una vuelta completa a la Bóveda celeste. Ahora bien: el círculo horario PAP' i el $P\gamma P'$, forman un ángulo diedro. Este ángulo diedro es la Ascensión Recta del astro A. Entonces:

Ascensión recta de un astro, es el ángulo diedro formado por el círculo horario del astro, i el círculo fijo que pasa por el equinoccio de Aries.

Este ángulo diedro se mide sobre el plano del Ecuador por el ángulo rectilíneo γTF .

El punto de origen de las Ascensiones Rectas, es el punto equinoccial de Aries. Se cuentan en **sentido directo**, o sea de oeste a este.

Si la flecha inferior en P' , fig. 21, marca la dirección del movimiento diurno, la flecha γ F indica el sentido en que deben contarse las Ascensiones Rectas.

Las Ascensiones Rectas varían desde 0° a 360° .

Todos los astros situados sobre un mismo círculo horario, tienen la misma Ascensión Recta.

La AR es análoga al azimut. Se diferencian sólo en la clase de plano que forman los ángulos respectivos.

Llámanse **Declinación** de un astro, el ángulo formado por la visual dirigida al astro i su proyección sobre el plano del Ecuador. Estando el observador en T, fig. 21, la visual TA se proyecta sobre el plano del Ecuador, según la recta TF. La declinación del astro A es el ángulo FTA.

La declinación varía de 0° a 90° .

Se cuenta desde el Ecuador al Polo.

Es de 0° , si el astro está en el Ecuador.

Es de 90° si el astro está en el Polo.

Todos los astros situados sobre un mismo paralelo, tienen la misma Declinación.

La Declinación es boreal o austral.

Es boreal, si el astro está en el hemisferio Norte.
Es austral, si está en el hemisferio Sur.

Distancia polar de un astro, es el ángulo formado por el Eje del mundo i la visual dirigida al astro.

La distancia polar del astro A, es el ángulo ATP, fig. 21.

La Declinación i la distancia polar son ángulos complementarios

Las declinaciones correspondientes al hemisferio austral son negativas; i positivas las que corresponden al hemisferio boreal.

La Declinación es análoga a la altura de un astro.

La diferencia está sólo en el plano en que la visual

se proyecta. En la altura, la visual se proyecta sobre el plano del Horizonte. En la Declinación, se proyecta sobre el plano del Ecuador.

1. Cálculo de la Ascensión Recta. Para calcular la Ascensión Recta de un astro, se necesitan: un reloj sideral i un instrumento para observar el astro en su pasaje por el meridiano.

El reloj sideral tiene la esfera dividida en 24 partes iguales.

Cada parte corresponde a una hora sideral. Está arreglado de manera que marca **0** horas **0** minutos **0** segundos, en el momento en que el equinoccio de Aries pasa por el meridiano.

La hora que marque el reloj sideral en el momento en que el astro pasa por el meridiano, es la AR, expresada en tiempo sideral.

Ejemplo: En el momento en que una estrella pasa por el meridiano de observación, el reloj sideral marca 3 hs. 20 min. 50 segundos. ¿Cuál es la AR?

Desarrollo: Este tiempo indica que el equinoccio de Aries pasó, hacia el occidente del meridiano, hace ya 3 h. 20 min. 50 seg. Hai una distancia de tiempo entre el instante en que el equinoccio pasó por el meridiano, i el instante en que pasa el astro que se observa, igual a la que indica el reloj sideral.

Luego: **AR = 3hs. 20 min. 50 seg**, expresada en tiempo sideral.

La AR, puede espresarse ahora en grados, minutos i segundos de arco.

Para esto, no hai más que observar que un punto de la Bóveda celeste recorre 360° en 24 horas siderales.

Luego: en 1^h , recorre $\frac{360}{15} = 15^\circ$.

Luego: $AR = (3^h. 20 \text{ min. } 50 \text{ seg.}) : 15$
 $= 50^\circ 12' 30''$.

Inversamente: si la AR está espresada en grados, se la puede espresar en tiempo sideral. Para esto no hai más que seguir el procedimiento inverso; es decir, dividir la AR por 15.

Si la AR de un astro es $50^\circ 12' 30''$, ¿cuál es su valor, espresado en tiempo sideral?

$$AR = (50^\circ 12' 30'') : 15.$$

$$= 3^h. 20 \text{ min. } 50 \text{ seg.}$$

Observación.—No deben confundirse los minutos i segundos de arcos con los minutos i segundos de tiempo.

Para observar una estrella en su paso por el meridiano, se emplea el **Anteojo meridiano**. Este anteojo

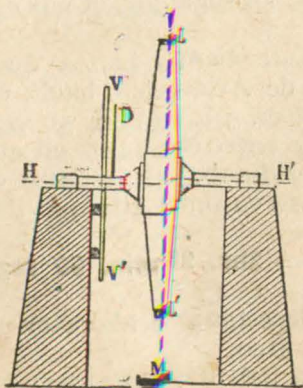


Fig. 22

L L', fig. 22, debe estar situado en el plano del meridiano; jira sobre un eje horizontal H H', que a su vez está sobre dos muros resistentes.

Ejercicios.

20. Una estrella culmina en el mismo instante en que el equinoccio de Aries pasa por el meridiano. ¿Cuál es su AR?

21. El reloj sideral marca o h. o min. o seg. en el instante en que una estrella pasa por el meridiano. ¿Cuál es su AR, espresada en grados, minutos i segundos?

22. En el momento en que una estrella pasa por el meridiano, el reloj sideral marca 5 horas. ¿Cuántos grados al occidente del meridiano está el punto equinoccial de Aries?

23. Una estrella culmina cuando el reloj sideral marca $5\frac{1}{2}$ horas.

¿Cuántos grados dista la estrella del círculo horario que pasa por Aries?

Espresar en grados, minutos i segundos las siguientes Ascensiones Rectas:

24. AR = 7 horas, tiempo sideral.

25. AR = 6

26. AR = 10 h. 40 min.

27. AR = 2 h. 25 min.

28. AR = 12 h. 10 min. 20 seg.

29. AR = 15 h. 18 min. 48 seg.

30. AR = 1 h. o min. 15 seg.

31. AR = o h. 20 min. 20 seg.

32. AR = o h. o min. 58 seg.

Espresar en tiempo sideral las siguientes Ascensiones Rectas:

- 33. $AR = 75^{\circ}$.
- 34. $AR = 150^{\circ}$.
- 35. $AR = 90^{\circ} 20'$.
- 36. $AR = 100^{\circ} 50' 50''$.
- 37. $AR = 180^{\circ} 25' 40''$.

38. Una estrella α pasa por el meridiano de un lugar 2 horas antes que otra estrella β . ¿Cuál es la diferencia de sus Ascensiones Rectas?

39. Una estrella culmina $1\frac{1}{2}$ horas antes que otra. Expresar en grados la diferencia de Ascensión Recta.

40. Dos estrellas pasan sucesivamente por el meridiano de un lugar a las 8 h. 35 min. 45 seg. i 23 h. 30 min. 27 seg.

Calcular la diferencia de Ascensión Recta.

2. Cálculo de la Declinación. Para medir la Declinación de un astro, es necesario determinar la altura del Polo sobre el Horizonte.

Se ha visto ya, en el párrafo 1 de este capítulo, que la posición del Eje del mundo varía. Coincide con el plano del horizonte en la Esfera recta i es perpendicular a él en la Esfera paralela. La altura del Polo sobre el Horizonte varía entonces entre 0° i 90° .

Sea HH' el Horizonte, fig. 23, i PP' la posición del Eje del mundo. La altura polar es el ángulo $H'TP$. O sea: el ángulo formado por el Eje del mundo i su proyección sobre el plano del Horizonte. Este ángulo es el complemento del ángulo CTP . Este complemento es la distancia cenital del Polo.

Distancia cenital del Polo, es el ángulo formado por la vertical i el Eje del mundo.

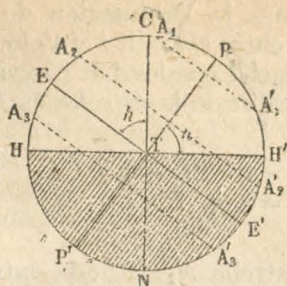


Fig. 23

Es evidente que si se conoce la distancia cenital del Polo, se conoce su altura.

Calculemos la distancia cenital del Polo. Para esto se aprovecha una estrella circumpolar.

Sea A_1 una estrella de esta clase. Se la observa con el teodolito en su pasaje superior e inferior por el meridiano: en A_1 i A'_1 .

Designemos por Z' la distancia cenital superior (en A_1) i por Z'' la distancia cenital inferior (en A'_1). Siendo Z la distancia cenital del Polo, se tiene:

$$+ \begin{cases} Z = Z' + A_1 P \\ Z = Z'' - A'_1 P \end{cases}$$

$$\frac{2Z = Z' + Z''}{Z = \frac{Z' + Z''}{2}}$$

La distancia cenital del Polo, es igual a la semisuma de las distancias cenitales meridianas de una estrella circumpolar.

$$\text{I ahora la altura del Polo es} = 90^\circ - \frac{Z' + Z''}{2}$$

$$= 90^\circ - Z.$$

Calculemos ahora la Declinación de la misma estrella A_1 , situada entre el Cenit i el Polo. La visual TA_1 se proyecta sobre el Ecuador EE' , según la recta TE . Luego la Declinación de la estrella es

$$\begin{aligned} \text{el ángulo } ETA_1 &= \text{arc } EC + \text{arc } CA_1 \\ &= h + Z' \end{aligned}$$

Sea ahora la estrella A_2 , situada entre el Cenit i el Ecuador. Su declinación es

$$\begin{aligned} \text{el ángulo } ETA_2 &= \text{arc } EC - \text{arc } A_2 C \\ &= h - Z \end{aligned}$$

Resumen: la Declinación de una estrella es igual a la altura polar, más o menos la distancia cenital meridiana de la estrella en su culminación.

Es **más**, si la estrella está entre el Cenit i el Polo. Es **menos**, si está entre el Cenit i el Ecuador.

Consideremos ahora la estrella A_3 , situada sobre el Horizonte en el hemisferio boreal. Su Declinación es

$$\begin{aligned} \text{el ángulo } ETA_3 &= \text{arc } A_3 C - \text{arc } E C \\ &= Z - h \end{aligned}$$

Es igual a su distancia cenital meridiana, menos la altura polar.

Las coordenadas ecuatoriales se emplean en la construcción de mapas i globos celestes.

Observación.—A fin de evitar confusiones en el dibujo, no se han dibujado las visuales TA_1 , TA_2 , TA_3 , que el lector debe imaginárselas.

Ejercicios.

41. La altura del Polo sobre el Horizonte de Santiago es de $33^{\circ} 27'$. ¿Cuál es su distancia cenital?

42. La altura del Polo sobre el Horizonte de un lugar es de $15^{\circ} 20'$. Calcular su distancia cenital.

43. ¿Qué relación hai entre la altura del Polo i la distancia cenital del Ecuador, para un mismo punto de observación?

44. ¿Cuál es la distancia cenital del Polo, si la posición de la Esfera para el observador es recta?

45. ¿Cuál es la distancia cenital del Polo, si un observador tiene la Esfera en posición paralela?

46. La distancia cenital del Polo es cero. ¿Cuál es su altura?

47. La distancia cenital del Polo es de $23^{\circ} 27'$. ¿Cuál es su altura?

48. Una estrella culmina a 5° al Sur del Cenit de Santiago. ¿Cuál es su altura?

49. Una estrella culmina $18^{\circ} 27'$ al norte del Cenit de Santiago. ¿Cuál es su altura?

50. Una estrella culmina 50° al norte del Cenit de Santiago. ¿Cuál es su altura?

51. ¿Cuál es la Declinación de una estrella que culmina a 10° al Sur del Cenit de Santiago?

52. ¿Cuál es la Declinación de una estrella que culmina a $14^{\circ} 10'$ al norte del Cenit de Santiago?

53. La Declinación boreal de una estrella, vista desde el Horizonte de Santiago, es 17° . ¿Cuál es su distancia cenital?

54. La Declinación boreal de una estrella es de 5° . ¿Cuál es su distancia cenital para Santiago?

55. La Declinación austral de una estrella es 20° . Si su distancia cenital es de 2° , ¿cuál es la altura del Polo sobre el Horizonte del observador?

56. La Declinación boreal de una estrella es de 45° . Si culmina a 50° al norte del Cenit, ¿cuál es la altura del Polo sobre el Horizonte del observador?

57. La distancia cenital del Ecuador es de $13^{\circ} 13' 13''$. ¿Cuál es la altura del Polo sobre el Horizonte del observador?

58. La distancia cenital del Ecuador es de $23^{\circ} 30' 30''$. ¿Cuál es la distancia cenital del Polo sobre el Horizonte del observador?

59. La altura del Polo sobre el Horizonte de un lugar es de $48^{\circ} 50'$. La declinación de una estrella es de 68° austral. Calcular la distancia cenital de la estrella.

60. La altura del Polo, en un punto del Horizonte del hemisferio boreal, es de $48^{\circ} 41'$. La Declinación boreal de una estrella es de 65° . Calcular su distancia cenital.

61. La altura del Polo sobre el Horizonte de París es de $48^{\circ} 50'$. La Declinación boreal de una estrella es de 80° . Calcular las distancias cenitales de esta estrella, en su pasaje superior e inferior por el meridiano.

Observación.—Dada la naturaleza de este volumen, se omiten las coordenadas eclípticas.

§ 7. Coordenadas jeográficas. Por medio de la Altura i el Azimut, se fija la posición de un astro, referido al plano del Horizonte.

Por medio de la Ascensión Recta i la Declinación, se fija también la posición de una estrella, pero referida al plano del Ecuador.

Por medio de las coordenadas jeográficas, se fija la posición de un punto sobre la Tierra.

Las coordenadas jeográficas son análogas a las coordenadas ecuatoriales.

Se les llama **Latitud i Lonjitud** jeográficas.

Latitud jeográfica, es el ángulo formado por la vertical del punto de observación, i su proyección sobre el plano del Ecuador.

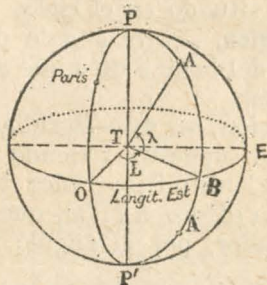


Fig. 24.

Sea la Tierra el círculo completo de la figura 24, i A un punto situado sobre ella.

El meridiano del punto A, es PABP'.

El Ecuador terrestre, es el plano OBE. La vertical del punto A es el radio AT de la Tierra, en dicho punto. Este radio se proyecta sobre el plano del Ecuador, según la recta BT.

La Latitud del punto A, es el ángulo BTA, $= \lambda$ = arco BA del meridiano que pasa por A.

La Latitud es boreal, si el punto de observación está en el hemisferio Norte. Es austral en caso contrario.

La Latitud se cuenta desde el Ecuador al Polo. Por consiguiente, varía de 0° a 90° .

Es de 0° , para los puntos situados en el Ecuador.

Es de 90° , para los Polos.

Los puntos situados sobre un mismo paralelo, tienen la misma latitud jeográfica. El punto A', situa-

do a igual distancia del Ecuador que el punto A, en el hemisferio opuesto, tiene también la misma latitud que éste; pero es austral.

Por lo dicho, se ve que la latitud jeográfica es lo mismo que la Declinación. Se diferencia sólo en que aquí se trata de un punto situado en la Tierra, i en la otra de un punto situado en el cielo.

Lonjitud jeográfica, es el ángulo diedro formado por el meridiano del lugar i otro que arbitrariamente se toma por orijen.

Para la esplicación, sea este meridiano el que pasa por París. En este supuesto, i siendo POP' el meridiano de París, la lonjitud jeográfica del punto A, fig. 24, sería el ángulo diedro APP'O, que se mide sobre el plano del Ecuador, por el ángulo rectilíneo OTB = arco OB.

El meridiano de orijen es el de Greenwich. Este meridiano está $2^{\circ} 20' 24''$ al occidente del meridiano de París.

Las Lonjitudes se miden sobre el plano del Ecuador, a partir del meridiano de orijen. En este dibujo, a partir de O, cuya graduación equivale a 0° .

La Lonjitud es **oriental** u **occidental**.

Es oriental, si el punto de que se trata está en dicho hemisferio. La Lonjitud del punto A, en el dibujo que se analiza, es oriental.

Todos los puntos situados sobre un mismo meridiano, tienen la misma lonjitud. A i A' están en esta condición.

Las Lonjitudes varían entre 0° i 180° .

1. Cálculo de la latitud jeográfica. La **Latitud jeográfica** de un

lugar, es igual a la altura del Polo celeste sobre el Horizonte del punto de observación. Sea A el punto situado sobre la superficie de la Tierra fig. 25.

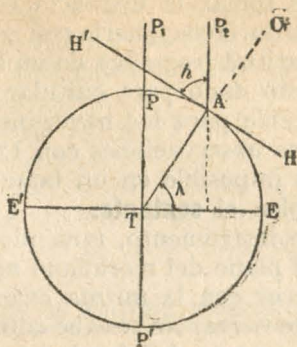


Fig. 25

El horizonte matemático del punto A es HH', perpendicular al radio AT de la Tierra.

Siendo EE' el Ecuador, el polo del mundo se proyecta en la Bóveda celeste en P_1 . El observador está en A: lo verá proyectado en P_2 . Pero mirada la Tierra desde el infinito, ésta queda reducida a un punto. Luego las rectas P_1T i P_2A se confunden. En consecuencia, para el observador estará el Polo celeste en el mismo punto en que lo vería desde T.

La altura del Polo, para el Horizonte de A, es el ángulo $H'AP_2 = ETA = \lambda$, por tener sus lados perpendiculares.

Pero ángulo $\text{ETA} = \lambda$, es la latitud del lugar. Luego $h = \lambda$, lo que prueba la proposición.

En las coordenadas ecuatoriales, se ha encontrado que $D = \lambda \pm Z$, siendo λ la altura polar.

Despejando λ , se tiene la altura polar, si se conoce la Declinación i la Distancia cenital.

Para esto se aprovecha el Sol.

La Declinación de este astro se registra en los **Connaissance des Temps**, que se edita en París anualmente.

Basta entonces tomar la distancia cenital del Sol en un momento dado, i relacionarla con su Declinación, para calcular la latitud jeográfica de un lugar.

El procedimiento dado para calcular la altura del Polo, no es aplicable para los navegantes, porque es necesario hacer las observaciones con 12 horas de intervalo; i esto es imposible en un buque en marcha. Entonces se emplea el **sextante**.

Esplíquese este instrumento, teniéndolo a la vista.

La posición del plano del meridiano no se puede en el océano establecer con la misma exactitud que en un observatorio de tierra. No se sabe entonces con precisión el instante en que el Sol culmina. Pero cuando el Sol está en el meridiano, su altura varía mui lentamente. Parece que el Sol no se moviera, porque el arco de su trayectoria es sensiblemente paralelo al Horizonte. Se puede así, sin grandes errores, tomar como el instante de su culminación el momento en que parece estacionario.

Ejercicios.

62. Esplíquese cómo se encuentra la latitud de un punto de la Tierra, aprovechándose de un globo jeográfico.

63. ¿Qué latitud tienen los trópicos terrestres?

64. ¿Cuál es la latitud de los círculos polares?

65. ¿Qué diferencia en latitud hai entre los dos trópicos?

66. ¿Qué diferencia en latitud hai entre los dos círculos polares?

67. La latitud de Santiago de Chile es $33^{\circ} 27'$, austral; i la de otro pueblo de Chile es $47^{\circ} 48' 40''$. Calcular la diferencia en latitud.

68. La latitud de París es $48^{\circ} 50' 11''$. Calcular la diferencia en latitud con Santiago de Chile.

Calcular la diferencia en latitud de dos pueblos cuyas latitudes son:

69. De A, $+35^{\circ} 48' 50''$ i de B, $+20^{\circ} 45' 20''$.

70. De A, $+40^{\circ} 40' 20''$ i de B, $-38^{\circ} 45' 12''$.

71. De A, $-10^{\circ} 15' 20''$ i de B, $-15^{\circ} 12' 14''$.

72. ¿En qué círculo de la Tierra se encontrará un punto cuya latitud es: a) de $+23^{\circ} 27'$; b) de $-23^{\circ} 27'$?

2. Cálculo de la longitud jeográfica.

Para calcular la longitud de

un punto, es preciso averiguar la diferencia de hora entre los pasajes de una misma estrella por el meridiano del lugar, i por el primer meridiano de origen. I como un punto de la Bóveda celeste recorre 15° por hora, habrá que multiplicar por 15 la diferencia de tiempo que se encuentre.

Supongamos el meridiano de París como el de origen; i se quiere encontrar la longitud oriental de un punto A, fig. 26. Si la estrella S demora 3 hs. en pasar del meridiano del punto A, que es PAP', al meridiano de

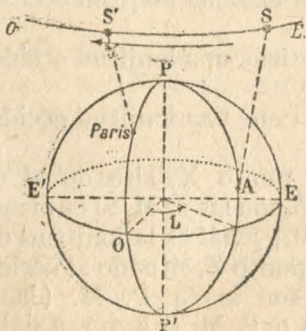


Fig. 26

París, que es POP', quiere decir que la longitud será de $15^{\circ} \cdot 3 = 45^{\circ}$, oriental.

Ahora: ¿cómo se calcula la diferencia de hora?

El procedimiento más sencillo para averiguar la diferencia de hora, es el de un buen reloj de precisión: un **cronómetro**. Se arregla éste, según la hora del meridiano de origen. Se determina después la hora en el punto de observación. La diferencia de hora resuelve el problema.

Ejercicios.

Determinar la diferencia en longitud entre dos puntos A i B, si

$$73. \quad \begin{cases} A, \text{ tiene una longitud oriental de } 20^{\circ}. \\ i \\ B, \text{ tiene una longitud oriental de } 43^{\circ}. \end{cases}$$

$$74. \quad \begin{cases} A, \text{ tiene una longitud oriental de } 33^{\circ}. \\ i \\ B, \text{ tiene una longitud occidental de } 23^{\circ}. \end{cases}$$

$$75. \quad \begin{cases} A, \text{ tiene una longitud occidental de } 12^{\circ}. \\ i \\ B, \text{ tiene una longitud occidental de } 13^{\circ}. \end{cases}$$

76. En un punto X, situado al oriente del meridiano de origen, son las 12 M. Si en el meridiano de origen son las 5 A. M., ¿cuál es la longitud del punto X?

77. En un punto Z, situado al occidente del meridiano de París, son las 4 P. M. (las 16) cuando en París son las 9 P. M. (las 21) ¿Cuál es su longitud?

Calcular la diferencia de hora entre A i B, si

78. $\begin{cases} \text{A, tiene una longitud oriental de } 10^{\circ}. \\ \text{B, tiene una longitud oriental de } 18^{\circ}. \end{cases}$
79. $\begin{cases} \text{A, tiene una longitud oriental de } 25^{\circ}. \\ \text{B, tiene una longitud occidental de } 14^{\circ}. \end{cases}$
80. $\begin{cases} \text{A, tiene una longitud occidental de } 60^{\circ}. \\ \text{B, tiene una longitud occidental de } 17^{\circ}. \end{cases}$

81. Un viajero parte por el trasandino hacia Buenos Aires, llevando la hora de Santiago de Chile. Sigue hacia el oriente, atraviesa el Atlántico i vuelve por el oeste de Chile cruzando el Océano Pacífico. ¿Qué diferencia habrá entre la fecha en que arribe a Santiago i la que marca su diario de viaje?

82. Propóngase el problema inverso.

Los siguientes problemas se refieren a las coordenadas de algunos puntos de la República de Chile.

La longitud se da en tiempo. Los alumnos deben espresarla en grados.

Averígüese la diferencia en latitud entre Santiago de Chile i cada uno de los demás puntos.

83. Santiago de Chile:

Latitud:	{ Desde Obs. Quinta Normal $33^{\circ} 26' 42''$	
	{ » » Lo Espejo..... $33^{\circ} 33' 44,2''$	
Longitud:	{ Oeste de Greenwich... 4 h 42 min 46,3 s.	
	{ » » París..... 4 h 52 min 7,3 s.	
	{ » » Berlín..... 5 h 36 min 21,2 s.	
	{ Este » Washington. 0 h 25 min 29,5 s.	

84. **Arica**, Iglesia de hierro:
| Latitud $18^{\circ} 56' 55''$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 37 min 30,3 s.
85. **Iquique**, Patio de la Delegación salitrera:
| Latitud $20^{\circ} 13' 3,7s$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 40 min 41,1 s.
86. **Antofagasta**, Estación del ferrocarril:
| Latitud $23^{\circ} 38' 39,3''$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 41 min 39 s.
87. **Copiapó**, Estación del ferrocarril:
| Latitud $27^{\circ} 21' 31,8''$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 41 min 25,8 s.
88. **La Serena**, Liceo:
| Latitud $29^{\circ} 57' 5,5 s$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 45 min 2,4 s.
89. **San Felipe**, Plaza Mardones:
| Latitud $32^{\circ} 44' 55,6$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 42 min 54,8 s.
90. **Valparaíso**, Escuela Naval:
| Latitud $33^{\circ} 1' 48''$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 46 min 35,9 s.
91. **Rancagua**, Plaza:
| Latitud $34^{\circ} 10' 15''$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 43 min 0,2 s.
92. **San Fernando**, Centro de la plaza:
| Latitud $34^{\circ} 35' 4,6$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 43 min 59,6 s.
93. **Curicó**, Iglesia de la Plaza:
| Latitud $34^{\circ} 54' 13''$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 44 min 59,2 s.
94. **Talca**, Iglesia Matriz:
| Latitud $35^{\circ} 25' 37,1$.
| Lonjitud O. de Greenwich.. 4 h 46 min 42,4 s.

95. **Chillán**, Patio de la Intendencia:
{ Latitud $36^{\circ} 36' 32''9$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 48 min 26,5 s.
96. **Concepción**, Liceo:
{ Latitud $36^{\circ} 49' 49''1$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 52 min 13,7 s.
97. **Los Angeles**, Iglesia:
{ Latitud $37^{\circ} 28' 16''8$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 49 min 25,6 s.
98. **Valdivia**, Liceo:
{ Latitud $39^{\circ} 48' 6''$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 53 min 6,4 s.
99. **Osorno**, Casa de Geisse:
{ Latitud $40^{\circ} 34' 45''$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 52 min 34,9 s.
100. **Puerto Montt**:
{ Latitud $41^{\circ} 28' 23''$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 51 min 47,7 s.
101. **Punta Arenas**, Block House:
{ Latitud $53^{\circ} 9' 38''$.
{ Longitud O. de Greenwich.. 4 h 43 min 36,8 s.

IV.

Sistema Solar.

§ 1. Composición del Sistema Solar. Se ha dicho ya
que el Sistema

de **Copérnico** es el verdadero Sistema Solar.

Este Sistema lo componen:

- 1.) **El Sol**, que es el centro del Sistema.
- 2.) **Los planetas**, que jiran en órbitas elípticas alrededor del Sol.

3.) Las Lunas ó satélites, que jiran alrededor de sus respectivos planetas.

4.) Las Estrellas fugaces.

5.) Los Cometas, que por una segunda aparición se ha comprobado que también algunos jiran en órbitas elípticas; alrededor del foco central.

6.) La Luz zodiacal.

Desarrollaremos la materia en el mismo orden que en este párrafo se establece.

A. El Sol.

§ 2. Influencia del Sol. ¿Cuál es la influencia del Sol sobre el Planeta?

Es múltiple.

Obra sobre la Tierra, manteniéndola en su órbita, en virtud de leyes inmutables.

Combina su acción con la de la Luna, para producir el movimiento de las aguas del Océano.

El calor benéfico de sus rayos, rompe el equilibrio de las capas atmosféricas i produce los vientos.

La evaporación del agua de los mares forma las nubes que, al chocar con las corrientes aéreas, dan origen a las lluvias, que coronan las altas montañas de nieves perpetuas i cuyos deshielos son el origen de caudalosos ríos i profundos lagos.

Su luz resplandeciente mantiene la vida de todos los séres del reino animal i vegetal; modifica las capas geológicas de la Tierra; hace estallar en la atmósfera los huracanes i las tempestades, con su cortejo de relámpagos i truenos.

Sus ondas serenas de luz i calor, hacen jerminalar la

simiente, de que nacen la hierba i el árbol majestuoso, que enhiesto i arrogante, desafía los vendavales i por siglos resiste a los rigores del tiempo i a la acción destructora de los elementos de la naturaleza.

I luego hace que nazcan las flores, rubias como sus rayos de oro, azules como el firmamento, blancas como las nieves eternas o las espumas del mar; i, en jeneral, de tan variados colores como el espectro solar, para ofrendarnos su perfume deleitoso i brindarnos más tarde una fruta sazónada i nutritiva.

Todavía: su influencia es tan maravillosa, que incrusta en el cerebro del hombre una chispa de su luz potente i de su grandeza. Desarrolla sus facultades, hace que piense, que raciocine, i que bendiga los dones sublimes con que fué creado, para irradiarlos después por los ámbitos de sus dominios inconmensurables.

§ 3. ¿Qué es el Sol?

El Sol es una estrella, de las tantas que pueblan el firmamento.

A primera vista, parece que esto fuera imposible de comprender. Porque, ¿cómo se esplica que nosotros veamos las estrellas que se proyectan en el azul del cielo, i estemos al mismo tiempo en él, conjuntamente con el Sol?

El Sol está aislado en el espacio, como lo están las innumerables estrellas que abarca nuestra vista, las que se proyectan en el campo del telescopio, i las que aún escapan a su potencia.

Supóngase un gran circo. En el centro está el Director, rodeado de los artistas, que obedecen sus ordenes i ejecutan sus movimientos en torno de él, alrededor de la pista. El circo está rodeado de espectadores. Los espectadores pueden compararse a las estrellas. El Director, que también es un espectador, i por lo mismo lo suponemos una estrella, es el Sol. Los artistas que

jiran alrededor de él en sus carreras, son los planetas. I estos seguramente que ven a todos los espectadores, como nosotros, que vivimos en el planeta Tierra, vemos las estrellas que en el cielo se proyectan.

§ 4. Vía Láctea. El Sol es una estrella de la Vía Láctea. Pertenece a su conjunto de estrellas, fig. 27.



Fig. 27.

La Vía Láctea es una gran **nebulosa** que rodea al cielo como una circunferencia máxima. Está formada de un gran número de estrellas, tan inmensamente lejanas, que su luz llega confusamente al campo visual. Por eso su aspecto es de color blanquecino, más bien lechoso.

La Vía Láctea, como las estrellas, sale, culmina, desciende i se oculta por el occidente. Participa del mo-

vimiento diurno. Naturalmente, el total de la Vía Láctea no puede verse de una sola vez. La mitad está sobre el horizonte i la otra permanece invisible. Pero esto no quiere decir que la otra mitad nunca se vea. No.

El Sol, como veremos luego, se mueve en Ascensión Recta. I esto hace que el aspecto de la Bóveda estrellada cambie, i por lo mismo nos permita ver la otra parte de la Vía Láctea.

La anchura de la Vía Láctea es variable. En algunas zonas alcanza a 14° ; i en otras es tan angosta, que apenas equivale a unas 8 veces el diámetro de la Luna.

La Vía Láctea se divide en algunos puntos en dos o más ramas, que luego vuelven a reunirse. Cerca de la constelación del **Centauro** i de la **Cruz del Sur**, presenta este aspecto. Aquí tiene su anchura mínima. En este punto se observa también una mancha oscura, en forma de pera. Se la designa con el nombre de **Saco de Carbón**. Este nombre le fué dado por los primeros marinos que visitaron el hemisferio Sur.

El Saco de Carbón mide unos 8° de largo por 5° de ancho. A la simple vista, se ve en él una sola estrella. Esto no quiere decir que no haya otras: con el anteojo se distinguen en gran cantidad.

En esta parte, la Vía Láctea tiene su menor distancia al Polo sur.

La Vía Láctea es mui brillante en las rejiones del hemisferio austral, comparada con la parte que corresponde al hemisferio boreal.

¿Qué número de estrellas forman la Vía Láctea? La cuestión no es fácil de resolver.

Una persona de vista bien conformada puede notar unas 6 000. Pero con el anteojo es distinto. El célebre astrónomo **Herschel**, en una ocasión calculó que por el campo de su anteojo habían desfilado, en un cuarto de hora, cerca de 116 000 estrellas.

El 22 de Agosto de 1792, vió pasar alrededor de

258 000, en 41 minutos. Naturalmente, observaba otra zona.

Herschel creía que con un anteojo de 45 centímetros de diámetro, podría observarse un número de estrellas que no bajaría de $5\frac{1}{4}$ millones. I **Struve** estimó que con un anteojo de 50 centímetros de abertura, podrían verse unos $20\frac{1}{2}$ millones.

La Vía Láctea no forma todo el mundo visible. Existen otras vías lácteas, otras nebulosas resolubles, cuyas distancias entre ellas deben ser, sin duda, proporcionales a sus dimensiones.

Como nuestra Vía Láctea, ellas estarán también formadas de millones de millones de estrellas, de soles; i alrededor de los cuales jirarán planetas con sus satélites, cometas i estrellas filantes.

I todavía, a distancias más lejanas, habrá otros cúmulos estelares que han escapado a la acción de los más poderosos anteojos.

Esto nos dice que la magnitud del Universo es infinita. Es incomprensiblemente infinita!...

Con razón dijo **Pascal**: «**el Universo es una esfera infinita, cuyo centro está en todas partes i la circunferencia en ninguna.**»

§ 5. Distancia del Sol a la Tierra. La distancia de la Tierra al Sol es enorme. Los astrónomos la han calculado en una cantidad que se aproxima a 150 millones de kilómetros. Espresada en radios terrestres, es de 23 400.

Esta distancia debe contarse desde el centro solar al centro de la Tierra.

Para hacer resaltar la enorme magnitud de esta distancia, refirámonos a algunos ejemplos prácticos.

Un tren que caminara sin detenerse, a razón de 50 km. por hora, demoraría alrededor de 300 años en recorrerla.

Una bala de cañón, con una velocidad inicial de 500 metros por segundo, i sin que ella disminuyera, emplearía en llegar al astro central poco menos de 10 años.

Un aviador, que viajara a razón de 100 Km. por hora, i suponiéndolo inmortal, demoraría 173 años.

La luz solar recorre 300 000 Km. por segundo. I demora en llegar desde el Sol a la Tierra $8\frac{1}{3}$ minutos.

La distancia de la Tierra al Sol no es la misma en todos los días del año. Es mínima, cuando la Tierra está en su **perijeo**. Es de 146 995 000 Km. Esto tiene lugar en los primeros días de Enero.

Es máxima, cuando la Tierra está en su **apojeeo**. Es de 151 952 000 Km. Esto tiene lugar en los primeros días de Julio.

El hecho de que el Sol esté más cerca de la Tierra en los primeros días de Enero, **no significa que esta sea la causa de los grandes calores que se sienten en el verano en el hemisferio sur.**

No.

Si así fuera, no habría en el hemisferio norte grandes tempestades de nieve.

La causa es otra: **los rayos solares caen en esa época más perpendicularmente sobre el hemisferio sur. Entonces la absorción i la irradiación del calor son mayores.**

§ 6. Aspecto del Sol. La luz solar hiere la vista. No se le puede, por eso, observar directamente. Es preciso valerse de algún medio que absorba en parte la intensidad de la luz. En ocasiones algunas nubes desempeñan este papel. Se le ve entonces en forma de un disco, de un tamaño semejante al de la Luna.

El medio más sencillo para observar el Sol, consiste en el empleo de un vidrio ahumado en la llama de una vela.

Un pequeño agujero, practicado con un alfiler en

una tarjeta, permite también observarlo; pero aparece un tanto deformado.

El color del disco solar es de un blanco amarilloso. Este disco es mayor en el horizonte que en el cenit.

El hecho de que el disco solar se vea más grande en el horizonte, **no se debe a la refracción**, sino a otras causas. Entre otras, se atribuye a la comparación que, sin darse cuenta, el observador hace con los objetos que abarcan su campo visual. Abrase un agujero en una tarjeta i míresele a través de él, i el fenómeno del mayor diámetro desaparecerá.

La intensidad de la luz solar aumenta desde el horizonte al cenit, i decrece desde el cenit al horizonte. Se ha calculado que la intensidad de la luz del Sol, a 40' de altura, es 1 000 veces mayor que cuando se halla a un grado sobre el horizonte.

§ 7. Dimensiones del Sol. El disco solar aparece bajo un ángulo de 32 minutos de arco. Igual diámetro aparente, con cortas diferencias, tiene la Luna. Pero sus magnitudes reales no son iguales. La Luna dista de la Tierra unas 96 000 leguas métricas = 384 000 Km.; el Sol dista unos 150 000 000 de Km. Luego el Sol deberá ser inmensamente mayor que la Luna, puesto que a tan mayor distancia presenta el mismo diámetro aparente.

Para darse una idea del tamaño del Sol, observemos que la Tierra es igual a 59 veces nuestra Luna. I el Sol es 1 280 000 veces mayor que la Tierra. Algunos astrónomos calculan este número en 1 259 712.

¿Cómo se ha podido calcular esto?

Calculando el radio. I conocido el radio, la comparación de los volúmenes es mui fácil, puesto que los volúmenes de dos esferas son entre sí como los cubos de sus radios.

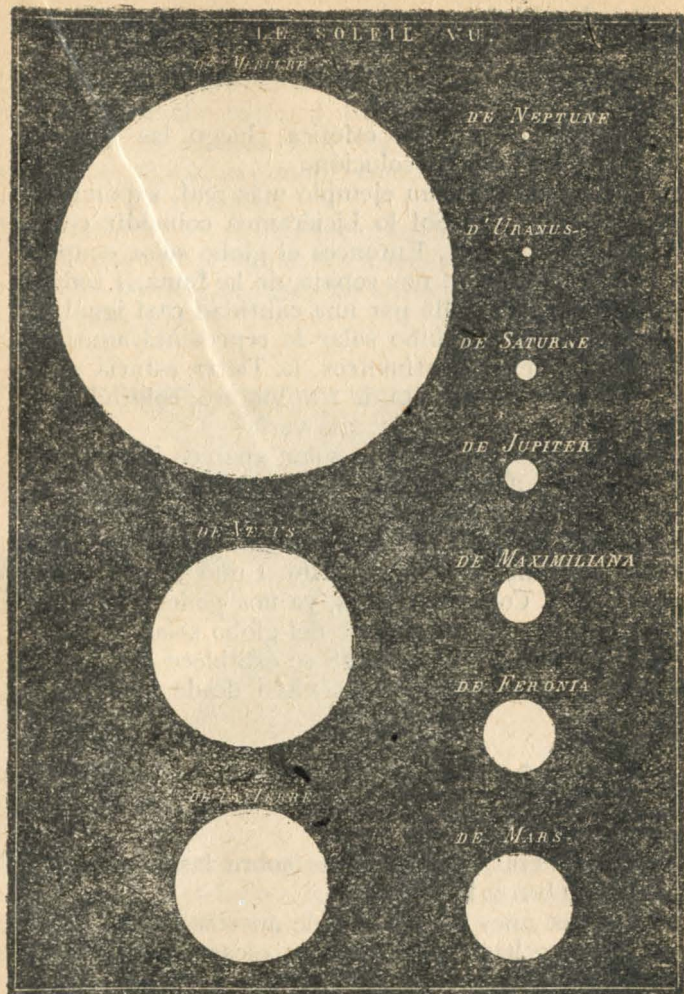


Fig. 28.

El radio del Sol es 109 veces el radio terrestre. I el radio medio de la Tierra es de unos 6 366 Km.

Conocido su radio, se puede calcular también su superficie i volumen.

El Sol es de forma esférica; luego las fórmulas $4 \pi r^2$ i $\frac{4}{3} \pi r^3$ dan la solución.

Para referirnos a un ejemplo más real, supongamos que el centro del Sol lo hiciéramos coincidir con el centro de la Tierra. Entonces el globo solar ocuparía todo el espacio que nos separa de la Luna; i todavía sobrepasaría más allá por una cantidad casi igual.

Aún más: si al globo solar lo representáramos por una esfera de 10 centímetros, la Tierra estaría representada por una esferita de 1 milímetro, colocada a 21 centímetros de distancia. ¿Se veía?

Se ha dicho que el disco solar aparece bajo un ángulo de 32'. ¿Qué significa esto?

Por el cálculo matemático se ha encontrado que el arco de un segundo ($1''$) medido en el centro del disco solar, tiene un valor de 715 Km. I uno de $1'$, será de 42 900 Km. Con estos datos, ya nos podemos dar una idea de la magnitud enorme de globo solar.

En la lámina de la fig. 28 se establece el diámetro aparente con que el Sol es visto desde los diversos planetas.

§ 8. Manchas solares. Con frecuencia, en la superficie del Sol se observan algunas manchas.

Las primeras observaciones sobre las manchas solares se deben a los chinos.

Entre los años 301 i 1 205 de nuestra Era, observaron 45 manchas. El número es escaso; pero hai que considerar que carecían de instrumentos. Sus observaciones las hacían a la simple vista.

Con el invento de los anteos, la cosa cambió.

El astrónomo holandés **Juan Fabricio** fué el primero que publicó una obra sobre el particular.

Las manchas solares aparecen por el borde oriental, i se pierden por el occidental, para volver a reaparecer otra vez por el oriental. Esto hizo pensar a Fabricio que el Sol estaba animado, como la Tierra, de un movimiento de rotación.

Las manchas, en sus trayectorias de oriente a occidente, sufren una deformación, a medida que se aproximan a los bordes. La figura 29 muestra un cambio de esta naturaleza.

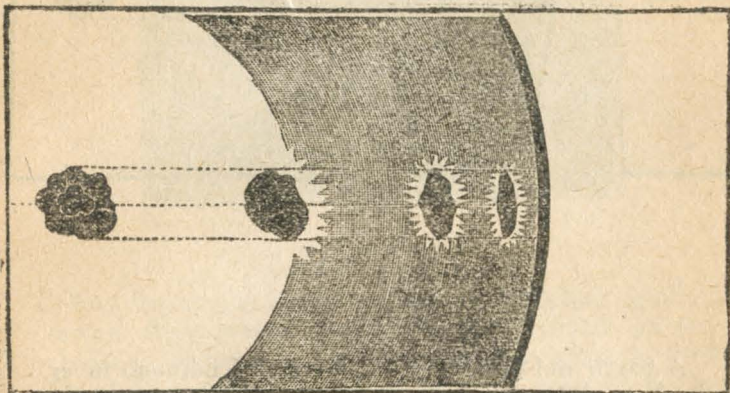


Fig. 29

Al aparecer por el borde oriental, (a la derecha del dibujo) presentan el aspecto como de una línea, ligeramente elíptica, si así puede decirse, siendo su diámetro vertical mayor que el horizontal. A medida que la mancha se aproxima al centro, va adquiriendo una forma sensiblemente circular. Esto se verifica en un intervalo de más o menos 7 días.

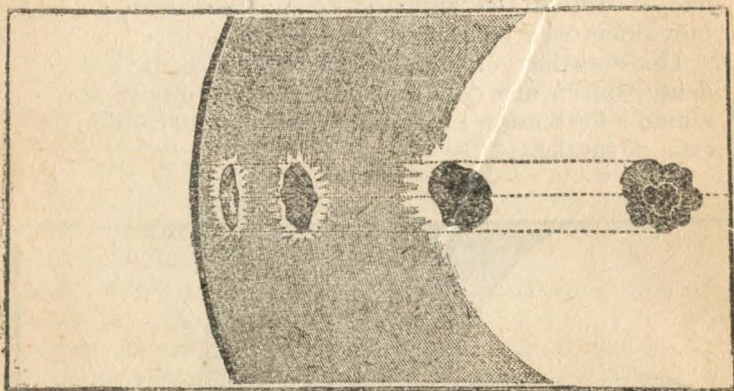


Fig. 30

A partir del centro, se presenta el fenómeno inverso. A medida que la mancha se aproxima al borde occidental, (hacia la izquierda del dibujo), se va deformando más i más, hasta que desaparece, en otros 7 días, por el borde occidental, fig. 30.

Si la mancha persiste, vuelve a aparecer, después de unos 14 días (13,6), por el borde oriental.

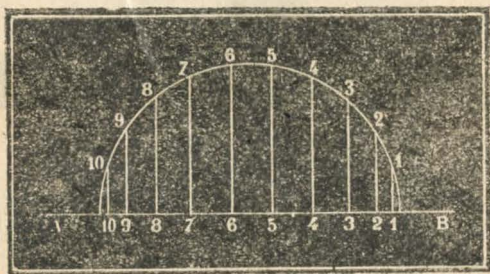
Las manchas se mueven con mayor velocidad en el centro que hacia los bordes. Esto es sólo un efecto de perspectiva.

El Sol es un globo, que se nos presenta como un

disco. Ahora bien: si una mancha recorre el arco 1-2, se proyectará según 1-2 sobre AB, fig. 31.

Esta proyección es menor que la 5-6, situada también sobre AB. De aquí por qué nos parece que una mancha se mueve con mayor velocidad en el centro que hacia los bordes.

Las trayectorias que las manchas describen no son iguales en todas las épocas de un año: varían con las estaciones.



F g. 31

Las distancias relativas de las manchas también varían. Esto prueba que las manchas tienen un movimiento propio. La figura 32 da una idea de esto. En el disco de la izquierda se ve la posición de las manchas A, B, C i D, al empezar el Sol una rotación.

Después de 28 días, ocupan las posiciones que las mismas letras indican en el disco de la derecha.

Las manchas suelen dividirse. Esta división puede deberse a la invasión de la materia luminosa, que divide en varias partes el núcleo, o a la aparición de un nuevo núcleo en las cercanías de una mancha ya formada.

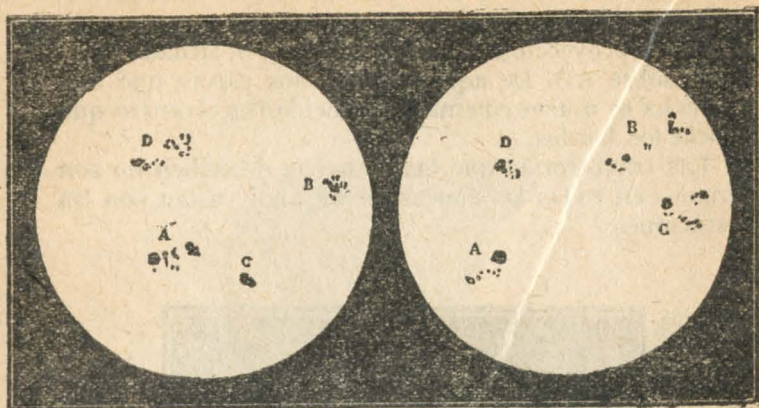


Fig. 32

Las manchas solares ocupan grandes superficies. Se cree que algunas abarcan una extensión igual a 18 veces la superficie de la tierra.

Las manchas no se ven en los polos del Sol; pero son abundantes en las rejiones del Ecuador, en una zona que abarca unos 40° , a ambos lados de este plano.

Las manchas describen líneas paralelas al ecuador solar.

El ecuador solar forma con la eclíptica un ángulo de $7^{\circ} 15'$.

Una mancha solar consta de dos partes bien marcadas: una interior i oscura, que se llama **núcleo**; i otra más clara, que rodea al núcleo, i que recibe el nombre de **penumbra**. Véanse los dibujos 29 i 30.

Además de estas dos partes, hai otras brillantes que rodean a la penumbra. Se les llama **fáculas**. La presencia de éstas es más frecuente cuando las manchas están cerca de los bordes.

La figura 33 muestra una mancha con fáculas, alrededor de la penumbra.

La aparición de las manchas tiene cierto período. El número de manchas aumenta i disminuye por un intervalo regular de 11,11 años. Este período es talvez orijinado por la acción de fuerzas que se orijinan

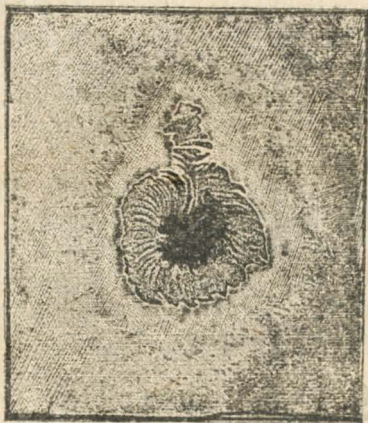


Fig. 33.

en el mismo foco solar; i es posible que tenga alguna relación con las auroras boreales i las corrientes magnéticas de la Tierra.

Schwabe, de Prusia, que observó el Sol durante 30 años, según se dice, sin saltarse un día, fué quien descubrió el aumento i disminución regular de las manchas.

El tiempo en que se verifican estas variaciones es menor de un mínimo a un máximo, que de un máximo a un mínimo.

En 1901, hubo un mínimo; i en 1905 un máximo de manchas solares.

Algunos astrónomos piensan que las manchas solares tienen una relación directa con la aproximación de Júpiter, por su enorme masa; i de Mercurio i Venus por su cercanía. Pero esto aún no está suficientemente comprobado.

Tampoco el número de manchas solares influye en la abundancia de las cosechas, como se ha creído. ¿Qué son las manchas? Se cree que son depresiones. Cuidadosas observaciones, han venido a establecer que el núcleo está a gran profundidad, respecto de la superficie luminosa.

El brillo de las manchas es variable. Pero se han hecho comparaciones con la intensidad misma de la luz solar. I se ha llegado a la conclusión de que, por término medio, si se representa por 1000 el brillo del Sol, la penumbra está representada por 800 i el núcleo por 549, según **Langely**.

§ 9. Atmósfera solar. Piensan los astrónomos que la atmósfera del Sol se compone, en primer término, de una capa dotada de un gran poder luminoso, que rodea al núcleo: es la **fotósfera**.

Presenta la fotósfera un aspecto rugoso, algo así como una serie de puntos de mui diversa forma, separados por espacios oscuros. La figura 34 da una idea de esto.

Los puntos son las **granulaciones**. Los espacios oscuros son los **poros**.

El dibujo de la figura 34 es un dibujo del célebre astrónomo inglés **Huggins**. El le dió el nombre de granulaciones.

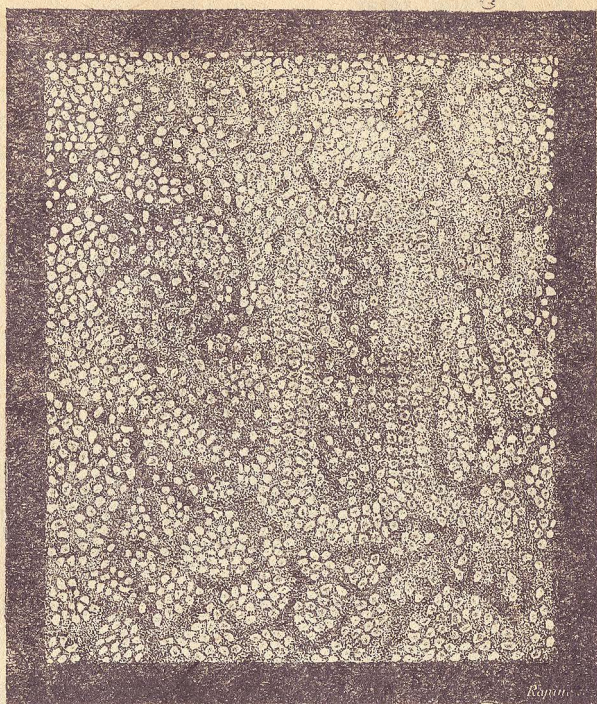


Fig. 34

A la fotosfera le sigue la **cromósfera**. Su temperatura es mui elevada i es una capa poco espesa. Predominan en ella el hidrógeno, con frecuentes erupciones de magnesio.

Sigue una tercera capa, al parecer menos caliente que las otras; pero mui enrarecida. Es la **corona**, que pocas veces está en equilibrio. Está además, ajitada por violentas tempestades. Se le llama así, porque en los eclipses totales de Sol forma, alrededor de la Luna, una especie de corona de luz.

§ 10. El calor solar. Se considera que el calor del Sol es producido por condensación, pues su tamaño está constantemente disminuyendo.

Otra teoría atribuye el calor del Sol i la formación de las manchas, al hecho de que gran número de meteoros, que en enorme cantidad abundan en el espacio, se precipitan sobre él, i mantienen su enerjía. Si Mercurio se precipitara sobre el Sol, se cree que se desarrollaría el calor necesario para compensar por 7 años la pérdida del calor solar.

El calor solar está disminuyendo lentamente. I acaso algún día cesará de alumbrar. La vida en la Tierra entonces también terminará o se transformará, adaptándose poco a poco al descenso de luz i de temperatura.

Newcomb espresa que en 5 millones de años el Sol, estará reducido a la mitad de su volumen actual; i esto no podrá mantener la vida animal por más de 10 000 000 de años.

Se vendría así a comprobar que en la naturaleza todo muere, hasta los planetas, por la terminación de la luz i del calor de las estrellas...

La cantidad de calor que el Sol emite es tanta, que según **Tyndall**, es suficiente para hacer hervir en una hora una masa de agua de 29 mil millones de Km. cúbicos.

Herschell dice: El calor del Sol podría, sin disminuir su intensidad, derretir en un segundo de tiempo, una columna de hielo de 4 120 Km. de base, i de 310 000 Km. de altura.

Del calor del Sol sólo llega a la Tierra:

1

2 200 000 000

§ 11. Composición química del Sol. Por el análisis espectral, se ha encontrado que en el Sol existen el cobre, la plata, el zinc, el níquel, el cromo, el magnesio, el sodio i el hidrógeno.

§ 12. Acción magnetica del Sol. Observaciones hechas, principalmente por los astrónomos ingleses, han permitido concluir que el Sol ejerce una gran acción magnética.

En la brújula de declinación, en nuestro hemisferio, el polo norte de la aguja parece huir del Sol desde el instante en que aparece en el horizonte. Este movimiento cesa $1\frac{1}{2}$ hora después que el Sol ha pasado por el meridiano magnético. La aguja empieza entonces a retroceder hasta que el Sol se pone.

La oscilación diurna de la aguja depende también de la declinación del Sol. Hai además un período ánuo de oscilación; i un máximo i un mínimo, según que el Sol esté en su perijeo o en su apojeo. Estas variaciones coinciden con los máximos i mínimos de las auroras boreales i de las manchas solares.

§ 13. Movimientos aparentes del Sol. Los movimientos aparentes del Sol pueden agruparse en tres categorías:

I. Movimiento diurno. Se efectúa de oriente a occidente, en 24 horas. Se debe al movimiento de rotación de la Tierra, en sentido directo.

Ya se ha hablado de las características de este movimiento.

II. Movimiento en Ascensión Recta. Este movimiento se debe al movimiento de traslación de la Tierra, también en sentido directo.

La Tierra recorre su trayectoria en el curso de un año, o sea en 365 días. Su órbita es muy poco **excéntrica**. Es casi circular. Luego puede establecerse, sin grandes errores, que la Tierra recorre **1°** por día. Pero a nosotros nos parece que la Tierra no se mueve. Creemos que es el Sol.

Pero aquí surge una pequeña dificultad. Si un viajero va en tren, ve desfilar los postes telegráficos en sentido contrario. De igual manera, nosotros que viajamos en el planeta Tierra, a razón de **1°** por día, deberíamos ver al Sol moviéndose en sentido contrario.

La Tierra en su movimiento directo va de occidente a oriente. Luego el Sol debería aparecer a nuestra vista moviéndose de oriente a occidente.

Sin embargo, esto no es así. El Sol se mueve también en sentido directo. Recorre un grado por día de **oeste a este**. ¿Por qué?

Es que el Sol no lo vemos en su posición verdadera, sino proyectado en los cielos.

Sea la figura 35.

La circunferencia interior es la órbita de la Tierra, i S el Sol. Desde T_1 , el Sol se ve proyectado en la posición I. Después de cierto tiempo, la Tierra se traslada a T_2 i el Sol se proyecta en II. En otro intervalo igual, la Tierra está en T_3 ; el Sol está entonces en III. Se ve que el Sol se mueve en el mismo sentido que la Tierra, o sea de occidente a oriente.

El movimiento del Sol en Ascensión Recta, es fácil descubrirlo en los cielos. Basta fijarse en una estrella importante cualquiera, en una noche determinada. En las siguientes se observará que cada vez se va

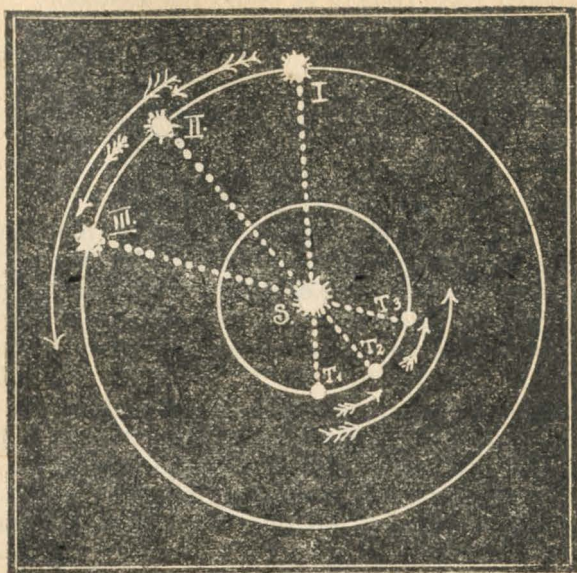


Fig. 35

poniendo más temprano. Es decir, se va acercando al Sol, hasta que ya no se la ve, porque se pone con él.

En este proceso, o el Sol se aproxima a la estrella, o ésta se acerca a él. Pero ya se ha dicho que las estrellas son fijas, relativamente a la corta existencia de la humanidad. Luego no será la estrella la que se aproxima al Sol, sino que éste avanza hacia ella, en sentido directo. Se mueve en Ascensión Recta.

III. Movimiento en declinación. En el equinoccio de Libra (21 a 23 de Setiembre), el Sol sale justamente en el punto Este.

El centro solar recorre el plano del Ecuador. Su declinación es **cero**.

A partir del equinoxio de Libra, el punto de salida es cada vez más al sur del punto Este.

Las variaciones son muy rápidas. Van disminuyendo poco a poco, hasta que el Sol se aleja $23^{\circ} 27'$, que es su máxima declinación austral.

Esto tiene lugar el 21 de Diciembre.

El Sol está en el solsticio de Capricornio. En este día, el centro solar recorre el trópico del mismo nombre. Es el día más largo del año, para el hemisferio Sur.

El Sol parece aquí detenerse algunos días.

Después de este intervalo, su punto de salida se aproxima diariamente al Ecuador. Su declinación austral disminuye, hasta el equinoxio de Aries. Este tiene lugar el 21 de Marzo. Otra vez sale en el punto Este. Su declinación es **cero**, porque el centro solar vuelve a recorrer el plano del Ecuador.

En los equinoxios, los días y las noches son iguales, de 12 horas cada una, para todos los puntos de la Tierra.

A partir del equinoxio de Aries, la declinación aumenta. Pasa a ser boreal. Los días en el hemisferio Sur disminuyen en duración.

La declinación boreal del Sol crece hasta alcanzar un máximo de $23^{\circ} 27'$.

Esto tiene lugar el 21 de Junio. El Sol está en el solsticio de Cáncer. Recorre el trópico del mismo nombre.

Para el hemisferio sur, es el día más corto.

En el solsticio de Cáncer, parece que el Sol nuevamente se detuviera por algún tiempo, para retroceder en seguida hacia el Sur. La declinación boreal disminuye hasta el equinoxio de Libra, en que otra vez vuelve a **cero**.

El mismo fenómeno se repite todos los años.

Este movimiento del Sol en declinación no es real. Es aparente. Se debe a que la Tierra se traslada alrededor del Sol, conservando el eje de la Tierra una posición paralela a sí misma, i a la oblicuidad de la eclíptica.

El Sol parece así oscilar a ambos lados del Ecuador, lo que nos da la ilusión de que avanza hacia un hemisferio, parece retroceder después i pasar al otro.

Este movimiento en declinación da lugar a las **estaciones**, como se verá más adelante.

§ 14. Movimientos reales del Sol. Son dos:

I. Movimiento de rotación. Se efectúa en sentido directo, en $25\frac{1}{2}$ días. Este movimiento se ha descubierto por el movimiento aparente de las manchas.

Sea la fig. 36.

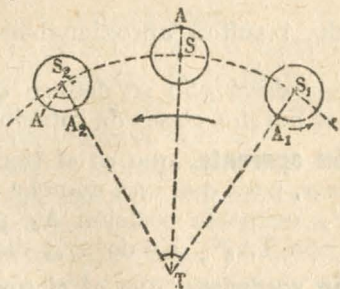


Fig. 36

Se ha dicho ya que el Ecuador solar forma con el plano de la eclíptica un ángulo de $7^{\circ} 15'$. Pero para nuestro desarrollo, supongámoslo que coincide con ella, de modo que una mancha se proyecta siempre en un mismo plano,

Sea T la Tierra i S_1 la posición del Sol, cuando una mancha solar A_1 se ve en la dirección TS_1 . Esta mancha sigue su trayectoria hacia el borde occidental. Se pierde, i después de cerca de 27 días (27,3 días) ocupa la posición A_2 , en la dirección TS_2 . Durante este tiempo, el Sol ha descrito en la eclíptica el arco $S_1 S_2$.

El radio $S_2 A'$, es paralelo con $S_1 A_1$. Cuando la mancha ocupa la posición A' , el Sol ha dado una revolución completa sobre su eje. Pero la mancha se ve en A_2 . Luego ésta ha recorrido un ángulo de $360^\circ + \angle A' S_2 A_2 = 360^\circ + \angle S_1 T S_2$. Pero el ángulo $S_1 T S_2$ representa, más o menos, unos 27° , puesto que el Sol recorre un grado por día. Luego $360^\circ + \angle S_1 T S_2 = 387^\circ$. Ahora una regla de tres simple da la solución:

Para recorrer 387° se necesitan.....	27 días
» » 360°	x

Resolviendo, resultan aproximadamente unos $25\frac{1}{2}$ días, (25,4),

Del anterior desarrollo se deduce que deben distinguirse en el Sol dos clases de rotaciones:

a) **Rotación aparente**, que es el tiempo que el Sol demora en jirar, para que una mancha A_1 , vista en la dirección TS_2 , ocupe la posición A_2 , para verse en la misma dirección $TA_2 S_2$. Es de 27,3 días.

b) **Rotación verdadera**, que es el tiempo en que la mancha, de la posición A_1 , vuelve a ocupar una posición igual en A' . Es decir, es el tiempo que la mancha emplea en recorrer 360° .

La rotación aparente o **sinódica** es mayor que la real.

II. Movimiento de traslación. El Sol se traslada, también en el espacio

a razón de **25 a 30 Km.** por segundo. Es sensiblemente igual a la que ejecuta la Tierra alrededor del Sol.

Este movimiento se ha descubierto, observando las distancias angulares de algunas estrellas. Se ha comprobado, con exactas medidas micrométricas, que sus distancias van disminuyendo.

Mirando ahora hacia el punto opuesto, ellas van aumentando. I esto no puede verificarse, sino porque el Sol se aleja de unas i se aproxima a otras. Luego el Sol se traslada.

Se cree que el Sol va hacia la constelación de Hércules.

Pero observaciones más recientes, suponen que nuestro Sol se aproxima hacia la constelación de la Lira, no lejos de la brillante estrella **Vega**.

Según esto, si el Sol S, en su trayectoria por los espacios sidéricos, recorre la recta S S , hacia Hércules o Vega de la Lira, fig. 37, la Tierra T describe en el espacio una inmensa espiral!...

El Sol, en su movimiento de traslación, lleva consigo a todo su cortejo de planetas. Semeja una gran locomotora con ocho carros principales, que recorre los espacios sidéreos sin nunca detenerse.

La Tierra ocupa el tercer lugar entre los planetas.

Vamos entonces viajando en carro de tercera clase, democráticamente.

§ 15. Hipótesis cosmogónica de Laplace. Antes de entrar a estudiar en detalle cada uno de los planetas, veamos qué han opinado los astrónomos acerca de la formación del sistema solar.

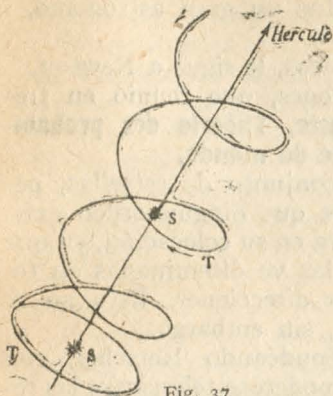


Fig. 37

La teoría más conocida i aceptada, es la de **Laplace**. Esta teoría fué formulada por primera vez por **Kant**. Pero Laplace la amplió i reforzó. Por eso lleva su nombre.

El marqués de Laplace fué un gran astrónomo, i jeómetra.

Según el decir de los técnicos, le sigue a Newton.

Hizo grandes investigaciones, que reunió en tres obras. Son: **Mécanique céleste**, **Théorie des probabilités**, i **Exposition du système du monde**.

Observando el inmenso conjunto de estrellas, parece que ningún orden existiera en su colocación, ya que se las ve diseminadas en todas direcciones. Esto no es así, sin embargo.



Laplace (1749-1827)

Sondeando Herschel, con su poderoso telescopio, las regiones siderales, llegó a la conclusión de que el número de estrellas disminuye progresivamente, a medida que el campo visual se aleja de la Vía Láctea. Esta conclusión llevó a los astrónomos a pensar

que todas las estrellas visibles forman un solo conjunto, una especie de núcleo en cierto punto S. fig. 38.

Entonces desde el Sol, o lo que es lo mismo desde la Tierra, las estrellas que nos rodean se nos presentan en distintas posiciones. Las hai en la direc-

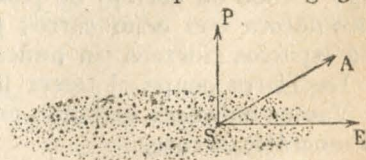


Fig. 38

ción SP, aumentan en la dirección SA; pero en la dirección SE las estrellas se amontonan tanto, que nos presentan el aspecto de la Vía Láctea.

La extensión considerable que abarca este conglo-

merado de estrellas es tan inmensa, que la luz emplearía unos 4 000 años en atravesarla en la dirección de su espesor; i unos 40 000 años en recorrerla, en el sentido de su longitud.

Veamos ahora lo que dice Laplace en su **Exposition du système du monde**. «Aunque los elementos del interior de los planetas sean arbitrarios, tienen, sin embargo, relaciones que pueden darnos luz acerca de su origen. Considerándolo con atención, uno se asombra al ver a todos los planetas moverse alrededor del Sol, de occidente a oriente, i casi en un mismo plano; a los satélites en movimiento alrededor de sus planetas en el mismo sentido; más o menos en el plano común de sus órbitas..

Fenómenos tan extraordinarios, no son debidos a causas irregulares. Sometiendo al cálculo su probabilidad, se encuentra que hai más de 4 000 millones contra uno de que no son el efecto de la casualidad, lo que forma una probabilidad mui superior a la de la mayor parte de los sucesos históricos, de los cuales no tenemos duda alguna. Debemos, pues, creer a lo menos, con la misma confianza, que una causa primitiva ha dirigido los movimientos planetarios.

Otro fenómeno igualmente notable del sistema solar, es la forma casi circular de las órbitas de los planetas, mientras que las de los cometas son sumamente alargadas. Estamos aún obligados a reconocer aquí el efecto de una causa regular: el azar no habrá dado, seguramente, una forma común a las órbitas planetarias. Es, pues, necesario que la causa que ha determinado los movimientos de aquellos cuerpos, los haya hecho **elípticas**.

Cualquiera que sea la naturaleza de aquella causa, ya que ella ha originado o dirigido el movimiento de los planetas, es necesario que ella misma haya abar-

cado todos estos cuerpos, i vista la distancia prodijiosa que los separa, ella no puede haber sido sino un fluido de una estensión inmensa. Para haberles dado en el mismo sentido un movimiento casi circular alrededor del Sol, es preciso que ese fluido haya rodeado a este astro como una atmósfera. La consideración de los movimientos planetarios nos inducen, pues, a pensar que en virtud de un calor excesivo, la atmósfera del Sol se ha extendido primitivamente más allá de las órbitas de todos los planetas, i que ella se ha contraído sucesivamente hasta sus límites actuales, a consecuencia de un enfriamiento.

En el estado primitivo en que suponemos al Sol, éste se parecía a las nebulosas que el telescopio nos muestra, compuestas de núcleos más o menos brillantes, rodeados de una nebulosidad, que condensándose en la superficie de los núcleos, los transforma en estrellas.

Si se concibe, por analogía, a todas las estrellas formadas de esta manera, se puede imaginar su estado anterior de nebulosidad, precedido de otros estados en los cuales la materia nebulosa era más o menos difusa, siendo el núcleo menos i menos luminoso. Se llega así, remontando tan lejos como se pueda, a una nebulosidad de tal modo difusa, que se podría apenas sospechar de su existencia».

Esto supuesto, dice Grignon, se concluye que en su enfriamiento lento por espacio de una enorme cantidad de siglos, nuestra nebulosa haya disminuído progresivamente de volumen. De esta contracción, i admitiendo con Laplace un movimiento de rotación primitiva para la nebulosa, se deduce que la velocidad de rotación aumentaría continuamente. Pero este exceso de velocidad no podría tener lugar sin que la nebulosa abandonase materias gaseosas en el plano

de su ecuador. Así, una molécula cualquiera del Ecuador, al ser solicitada por dos fuerzas directamente opuestas, la atracción newtoniana i la fuérza centrífuga, i llegado un momento en que estas dos fuerzas se hallaren en equilibrio, debe haber cesado de formar un cuerpo con el resto de la nebulosa, conservando su movimiento de rotación. Lo que sucedía con una molécula, puede naturalmente, ampliarse a toda una zona de moléculas situadas en el contorno del ecuador solar.

De modo, pues, que la nebulosa, a consecuencia de su enfriamiento, ha debido abandonar sucesivamente coronas de vapor en el plano de su ecuador. I finalmente, la parte mayor de la nebulosa ha formado alrededor de su centro una masa estable que es el Sol, fig. 39.

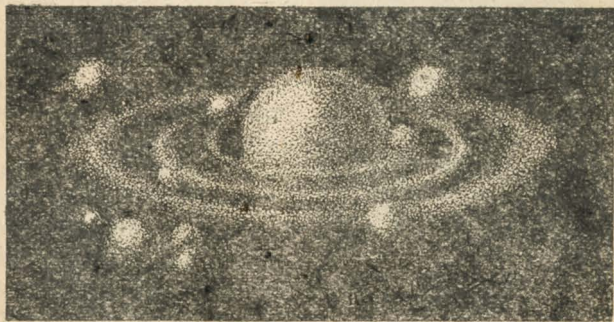


Fig. 39

De las coronas de vapores se han formado después los planetas i satélites.

Si todas las moléculas de un anillo hubieran continuado moviéndose en un estado de equilibrio per-

fecto, se habría formado, a la larga, un anillo de pequeños cuerpos líquidos o sólidos. Pero la regularidad que esta formación exige para todos los puntos del anillo, ha debido producir un fenómeno estremada-

mente raro. De esto no se encuentra más que un ejemplo: el de los planetoides. (I también el anillo de Saturno en la formación de los satélites.) Casi siempre, cada anillo de vapores, ha debido romperse en varias masas, que movidas con velocidades mui poco diferentes, han continuado jirando a la misma distancia en torno del Sol, fig. 40.

Esas masas gaseosas han debido tomar la forma esferoidal, puesto que sus moléculas inferiores deberían tener una velocidad lineal v , inferior a la velocidad V de las moléculas superiores. Pero si una de ellas ha sido bastante potente para reunir sucesivamente por

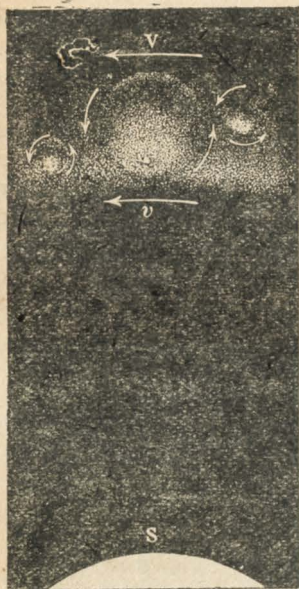


Fig. 40

su atracción a todas las otras alrededor de su centro, el anillo grueso habría sido trasformado en una sola masa esferoidal jiratoria alrededor del Sol, i con una rotación dirigida en el sentido de su misma rotación.

Finalmente los planetas, en estado gaseoso aún,

enjendraron los satélites, como la nebulosa solar dió lugar a la formación de los planetas.

El anillo de Saturno sería semejante al del anillo formado por los pequeños planetas.

Sobre el anillo de Saturno, Mitchel ha dicho: «Los anillos de Saturno fueron dejados inconclusos para mostrarnos cómo se hizo el mundo.»

B. PLANETAS.

§ 16. El zodiaco. Todos los planetas se mueven en una zona del cielo, que abarca más o menos unos 9°, a ambos lados de la eclíptica. Total: 18°. Es el zodiaco.

Desde muy antiguo, el zodiaco se ha dividido en 12 partes iguales, de 30° cada una. A estas doce partes iguales se les llama **signos del zodiaco**.

Los nombres de los signos del zodiaco son:

Aires.....(carnero)	}	Otoño.
Taurus.....(toro)		
Gemini.....(jmelos)		
Cáncer.....(cangrejo)	}	Invierno.
Leo(león)		
Virgo.....(virjen)		
Libra.....(balanza)	}	Primavera.
Escorpius.....(escorpión)		
Arcitnens.....(sajitario)		
Caper(capricornio)	}	Verano.
Amphora(acuario)		
Pisces.....(peces)		



Fig 41

Cada uno de estos signos tiene un símbolo especial, que está marcado debajo de cada nombre en el diagrama de la fig. 41, i que más adelante se esp'ayan.

Una lijera esplicación hará entender el dibujo. Supongamos que la Tierra entra en el signo de Aries. Frente al Sol, i diametralmente opuesto, está el signo de Libra. Entonces el Sol entra en el signo de Libra.

Inversamente: si la Tierra entra en el signo de Libra, el Sol entra en el signo de Aries.

No deben confundirse los signos del zodíaco, con las constelaciones del mismo nombre. Hace unos 2 000 años, en tiempos de Hiparco, ambos coincidieron. Hoi no. Por un fenómeno llamado Precesión de los equinoccios, tienen una diferencia de más o menos 30°. Así, el signo de **Aries**, por ejemplo, se halla en la constelación de **Piscis**.

§ 17. Origen de los nombres de los signos zodiacales.

Los nombres de los signos del zodíaco datan desde mui antiguo. Fueron dados cuando coincidían con las constelaciones que tienen la misma designación.

Para investigar el posible origen de sus nombres, no debe olvidarse que cuando en el hemisferio austral, las brisas otoñales empiezan a despojar a los árboles de sus hojas caducas, en el hemisferio norte la naturaleza ríe i los campos secubren de flores; cuando en Chile las enhiestas cumbres de los Andes recobran su intensa blancura anual, cuando los fuertes vientos derriban robles seculares i los torrentosos ríos arrastran puentes e inundan los campos, allá en el hemisferio boreal se hacen sentir con fuerza los sofocantes calores estivales; cuando entre nosotros la naturaleza empieza a vestirse de gala, después del letárgico sueño invernal, en las zonas septentrionales empiezan a soplar las

primeras heladas brisas precursoras del otoño; i cuando en Chile, los intensos calores de Enero hacen que los habitantes abandonen los grandes centros de población, en busca del oxijenado aire de los campos, o de las salinas brisas del mar, la otra mitad del planeta es azotada por furiosas tormentas, que hacen estremecer las graníticas rocas de las costas oceánicas, mediante el potente empuje de las embravecidas olas del mar.

Las estaciones, se suceden, pues, en orden inverso.

1.) Aries. (21 de Marzo). Al empezar la primavera, los rebaños de ovejas i carneros



= γ

se levantan con el Sol, para ir a pacer en los campos. I como los pastores caldeos estimaban en mayor grado a estos rebaños, dieron el nombre de Carnero a la zona celeste en la cual el Sol en esta época se proyecta.

2.) Taurus. Los caldeos estimaban en segundo grado a sus manadas de bueyes. Por eso tal vez designaron



= β

con el nombre de Toro a la constelación que en el siguiente mes marcha con el astro central.

3.) Gemini. Se cree que la importancia relativa que a ambas clases de rebaños los pastores asignaban, dió origen al nombre de Jemellos con que este signo zodiacal se designa.



= II

- 4.) **Cáncer.** Desde el 21 de Marzo el Sol avanza hacia el hemisferio boreal, hasta el solsticio de Junio. Allí parece detenerse. Retrograda en seguida, a semejanza de un cangrejo, hacia el hemisferio

opuesto. De aquí su nombre.



- 5.) **Leo.** En Julio, por los fuertes calores, el caudal de las aguas de los ríos disminuía, i el León infundía el espanto entre los rebaños, al procurarse su presa. Por esto el signo zodiacal que corresponde a este mes lleva su nombre.



- 6.) **Virgo.** En Agosto empiezan las cosechas. Entonces las Virgenes recojían las espigas de trigo en las sementeras. Este hecho lo simbolizaron, dando el nombre de Virgen a la zona celeste en que el

sol en este mes aparece.



- 7.) **Libra.** (21 de Septiembre). La duración del día es igual a la de la noche. El tiempo está balanceado. De aquí su nombre, simbolizado en una Balanza.



- 8.) **Scorpius.** En Octubre la vegetación decae: empieza el preludio de su letárgico sueño invernal. Esta circunstancia hizo dar el nombre de Escorpión a la zona celeste que el Sol preside, porque este arácnido siembra la muerte con su aguijón, al retroceder.



- 9.) **Arcitenens.** Es el período de la caza. Esto explica el nombre de Sajitario (sajita).



- 10.) **Capér.** En el solsticio de Diciembre, el hemisferio norte está en pleno período invernal. I como en esta época las cabras se deleitan trepando a las rocas al borde de grandes precipicios, por comparación se designó con el nombre de Capricornio a la parte del



cielo que el sol ocupa.

- 11.) **Amphora.** En Enero es para el hemisferio norte el período de las lluvias. De aquí el nombre de Acuario (aguador) con que al respectivo signo del zodiaco se designa.



12.) Pisces. Es el período de la pesca. ¶ como los Peces estaban consagrados a Venus, se explica el nombre.



§ 2. Modo de distinguir un planeta entre las estrellas. Es fácil distinguir, a la simple vista, un planeta de una estrella. Su luz es suave i tranquila, como que carece de luz propia: es alumbrado por el Sol. En cambio, las estrellas presentan el fenómeno del centelleo.

Este centelleo es variable, según sea el estado de la atmósfera. Más adelante se hablará sobre ésto.

Como los planetas jiran alrededor del Sol, cambian de posición entre las estrellas. Estos cambios se hacen sensibles en unos cuantos días, para algunos.

Con un telescopio es mucho más fácil distinguirlos, porque presentan discos sensibles, mientras que las estrellas aparecen siempre solo como puntos brillantes.

§ 3. División de los planetas. Considerando la órbita de la Tierra como límite, los planetas se clasifican en **interiores i exteriores.**

Son interiores: Mercurio i Venus.

Son exteriores: Marte, Júpiter, Saturno, Urano i Neptuno.

Los planetoides, que están situados entre Marte i Júpiter, son también exteriores.

A los planetas interiores se les llama también planetas inferiores; i a los otros, planetas superiores.

Los planetas interiores carecen de satélites. Los exteriores tienen todos, excepción hecha de los planetas telescópicos.

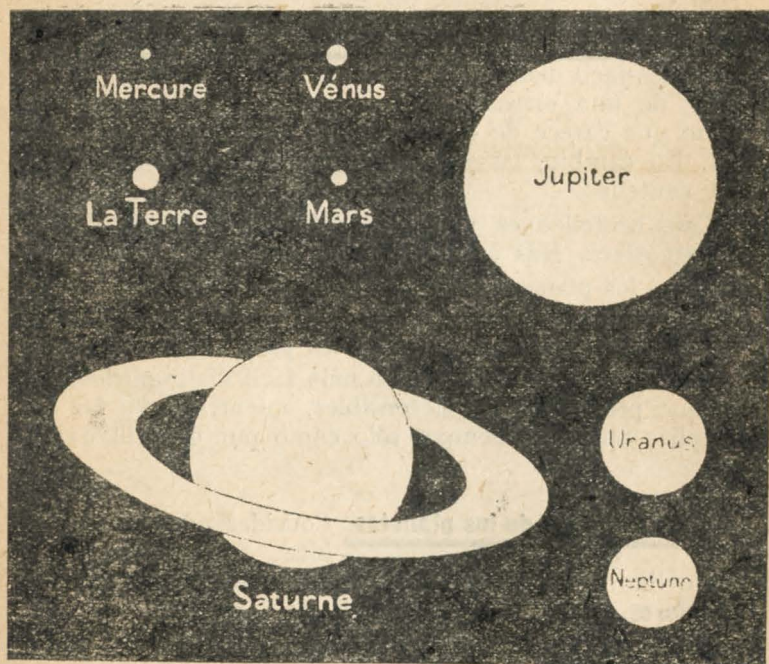


Fig. 42

§ 4. Tamaño comparativo de los planetas. El mayor de todos los planetas es **Júpiter** i el más pequeño Mercurio.

El dibujo de la fig. 42 da una idea de los tamaños comparativos.

Mídanse sus diámetros con una regla dividida en milímetros, i háganse las comparaciones de sus volúmenes.

§ 5. Conjunciones de los planetas. Dos o más planetas están en conjunción, cuando aparecen en línea recta con respecto a la visual del observador. Estas conjunciones son raras.

La primera de que hai mención, es la anotada por los chinos. Acaeció el 28 de Febrero de 2446 antes de J. C. Entraron: Marte, Júpiter, Saturno i Mercurio; i tuvo lugar entre los 10º i 18º de Piscis.

En 1725, Venus, Mercurio, Júpiter i Marte aparecieron también en el mismo campo del telescopio.

En 1859, Venus i Júpiter se acercaron tanto, que aparecían al ojo del observador como un solo foco de luz.

§ 6. Conjunciones de un planeta interior, con respecto al Sol. Un planeta interior tiene dos conjunciones: **inferior** i **superior**.

Está en conjunción inferior, cuando se halla entre la Tierra i el Sol. Entonces el planeta tiene su menor distancia a la Tierra; i es igual a la diferencia de las distancias de los planetas al Sol.

Siendo T la Tierra, fig. 43, el planeta interior está en conjunción inferior en A.

Un planeta interior está en conjunción superior, cuando el Sol se halla entre la Tierra i el planeta. Entonces el planeta tiene su máxima distancia a la Tierra; i es igual a la suma de sus respectivas distancias al Sol. Estando la Tierra en T i el planeta interior en B, éste está en conjunción superior.

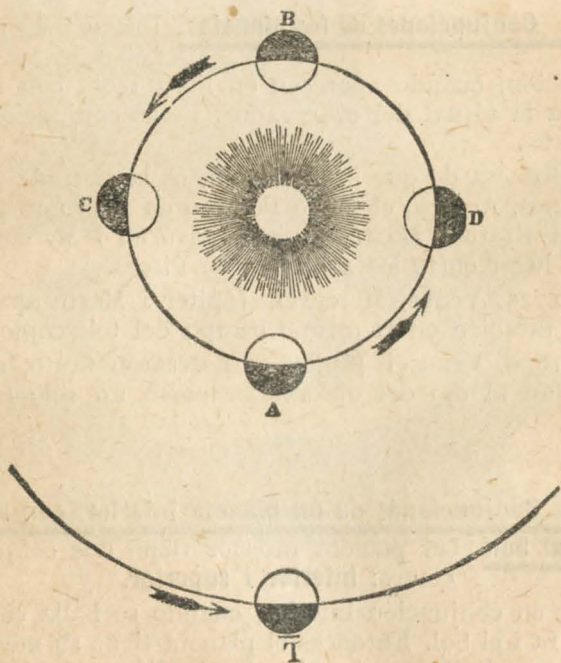


Fig. 43

§ 7. Oposición, conjunción i cuadratura de un planeta exterior, con respecto al Sol.

Un planeta exterior está en oposición, cuando la Tierra está entre el Sol i el planeta. En la posición I el planeta está en oposición, fig. 44. Si un observador mira al Sol, el planeta está a su espalda. En la oposición, el planeta tiene su menor distancia a la Tierra; i entonces es igual a la diferencia de los radios de sus órbitas.

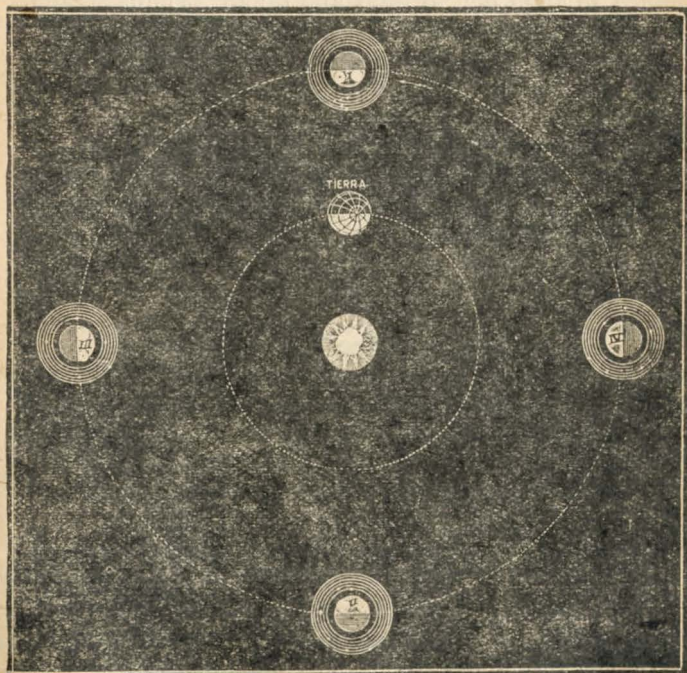


Fig. 44

Un planeta exterior está en conjunción, cuando el Sol se halla entre la Tierra i el planeta. En la posición II está en conjunción. Aquí tiene su máxima distancia a la Tierra; i es igual a la suma de los radios de sus órbitas. En las posiciones III IV el planeta está en cuadratura. Los tres astros forman un ángulo de 90° .

§ 8. Movimiento de un planeta interior. Un planeta interior nunca se aleja del Sol más allá de 48° . Venus se aleja por esta distancia angular.

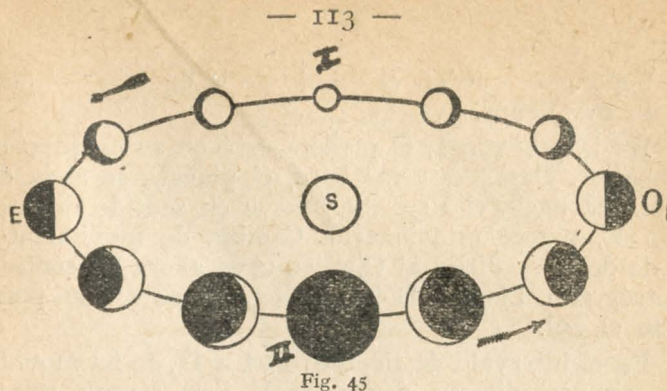
Llámanse elongación de un planeta, la distancia angular del planeta al Sol. La mayor elongación se llama **digresión**.

En su movimiento alrededor del Sol, un planeta interior puede verse al Este del Sol. Entonces su elongación es oriental. Se pone después del Sol: es estrella **vespertina**.

Si el planeta está hacia el oeste del Sol, su elongación es occidental. Sale antes que el Sol: es estrella **matutina**.

Un planeta interior **nunca** se ve brillar en su conjunción inferior. Pero algunas veces pasa frente al disco solar, presentándose a nuestra vista como un punto negro i redondo, que se mueve lentamente a través de él. Esto se designa con el nombre de **Pasaje** o **tránsito de un planeta** a través del Sol.

§ 9. Fases de un planeta interior. Si se observa con el telescopio un planeta interior, poco después que sale de los rayos solares en su conjunción superior, se ve su disco casi circular: posición I, fig. 45. El planeta se dirige hacia el oriente. Se aleja del Sol. Su elongación crece.



Si se le sigue observando, se verá que la parte iluminada del disco va disminuyendo, a medida que crece el diámetro aparente.

Cuando llega a E, tiene su máxima elongación oriental. Aquí el disco del planeta aparece como un semicírculo perfecto, tal como la Luna en su primer cuarto. La convexidad de la parte iluminada está vuelta hacia el Sol. Desde E, la parte iluminada del disco sigue disminuyendo, al mismo tiempo que sigue aumentando el diámetro aparente del planeta. Cuando llega a su conjunción inferior, el planeta no se ve: posición II. I como tiene su mínima distancia a la Tierra, tiene su mayor diámetro aparente. A partir de esta época, las fases del planeta se presentan en igual forma; pero en sentido inverso. La convexidad de la parte iluminada siempre está vuelta al Sol. Cuando llega a O, tiene su máxima elongación occidental. I otra vez aparece como un semicírculo en el campo del anteojo.

§ 10. Movimiento retrógrado de un planeta interior.

Los antiguos no pudieron explicarse el movimiento retrógrado de los planetas.

Supóngase que en el dibujo de la figura 45 el planeta sea Venus.

En la posición I, el planeta está en su conjunción superior. Desde este instante, el planeta se aleja de Sol. Va hacia el Este. Se mueve en sentido directo. En E, parece estacionario. Cambia de movimiento; i desde E se dirige al O. Se mueve ahora en sentido retrógrado. Llega a II i el planeta no se ve. Se pone con el Sol.

En el intervalo de tiempo de I a II, se ha movido en sentido directo, desde I a E, i en sentido retrógrado desde E hasta II. El planeta se ve después que el Sol se pone: es estrella vespertina.

Desde II sigue moviéndose hasta O, siempre en sentido retrógrado. En O se detiene. Cambia de movimiento. Se dirige ahora al E., en sentido directo, hasta que llega otra vez a I en su conjunción superior.

Desde II a I el planeta aparece como estrella matutina. Se le ve por la mañana. Es el **Lucero** del alba, bajo el supuesto de que sea Venus.

§ 11. Causa del movimiento retrógrado. La causa del movimiento retrógrado de los planetas, es la diferencia de velocidad entre la Tierra i el planeta.

En virtud de la atracción universal, un planeta se mueve tanto más ligero, cuanto más cerca del Sol esté. Sea el dibujo, fig. 46.

Supongamos un planeta interior en B i la Tierra en A. Mirado desde A, va a proyectarse en el zodiaco, por ejemplo en el signo de los Gemelos, en C. Después de cierto tiempo el planeta se traslada a D i la Tierra a F. Mirado el planeta desde F, va a proyectarse en

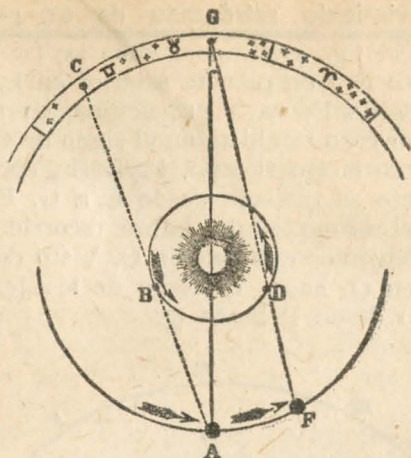


Fig. 46

G, en el signo del Toro, supongamos por caso. El planeta ha retrogradado desde C a G, mientras que la Tierra va en sentido directo desde A a F.

§ 12. Fases de un planeta exterior. Con un planeta exterior no pasa

lo mismo que con un planeta interior, en cuanto a las fases.

Un planeta exterior no tiene fases completas. En Marte, por ejemplo, se ve el disco completo, tanto en la conjunción como en la oposición, mientras que en la cuadratura su fase es pequeña.

En Júpiter apenas se notan las fases.

En los demás planetas exteriores son nulas.

De manera que en un planeta exterior las fases disminuyen, mientras más lejos está el planeta del Sol.

§ 13. Movimiento retrógrado de un planeta exterior.

Sea la fig. 47. Supongamos la Tierra en un punto E, i un planeta exterior en L. Mirando el planeta desde E, va a proyectarse en los cielos, pongamos por caso también, en el signo de Cáncer, en P. Después de cierto tiempo, la Tierra en su movimiento directo se traslada desde E a G. El planeta exterior en el mismo tiempo habrá recorrido un arco menor. Supongamos que esté en O. Visto desde G, se proyectará en Q, hacia el signo de los Jemelos: ha retrogradado desde P hasta Q.

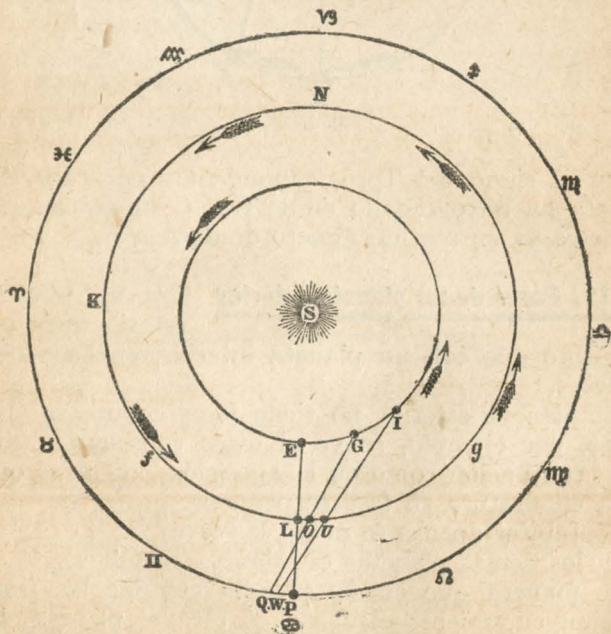


Fig. 47

Llámac perihelio, el punto en que un planeta se halla más cerca del Sol.

Llámac afelio, el punto en que un planeta se halla más lejos del Sol.

La velocidad de traslación aumenta desde el afelio al perihelio, i disminuye desde el perihelio al afelio.

Naturalmente, la diferencia de velocidad en cada instante depende de la excentricidad de su órbita.

Llámac excentricidad, la distancia que hai desde el centro de la elipse a uno de los focos.

Mientras más excéntrica es la órbita de un planeta, mayor es la diferencia de velocidad entre el afelio i el perihelio.

§ 15. Nodos de un planeta. Las órbitas de los planetas no coinciden con el plano de la eclíptica. Todas están inclinadas con respecto a este plano. En consecuencia, lo cortan en dos puntos. Estos puntos son los **nodos**.

Nodos de un planeta, son los puntos en que su órbita corta el plano de la eclíptica.

Se les llama nodo ascendente i descendente.

Nodo ascendente, es aquel en que el planeta pasa del hemisferio austral al boreal.

Nodo descendente, es aquel en que el planeta pasa del hemisferio boreal al austral.

§ 16. Revolución sideral i sinódica de un planeta. Llámac revolución sideral de un planeta, el tiempo que demora en recorrer su órbita, o sea el tiempo que transcurre entre dos pasajes consecutivos del planeta por el meridiano de una misma estrella. Es el año sideral del planeta. Esta revolución es tanto más grande, cuanto más lejos está el planeta del Sol.

Para calcular el tiempo en que un planeta efectúa su revolución sideral, se aprovecha la revolución sinódica.

Llámanse revolución sinódica de un planeta, el tiempo que transcurre entre dos conjunciones o dos oposiciones del mismo nombre.

La duración de la revolución sinódica de un planeta, se deduce por la observación.

La revolución sinódica de un planeta interior, es mayor que la revolución sideral.

• Inversamente: en un planeta exterior, es menor que la revolución sideral.

§ 17. ¿Están habitados los planetas? Incógnita formidable para

la humanidad es esta cuestión. Hoi por hoi, nada se sabe sobre el particular. Todo está en el campo de la hipótesis. Pero hai algunas circunstancias que hacen pensar que es mui posible que en los demás planetas exista la vida animal. Naturalmente, la organización fisiológica de dichos séres no podrá ser la misma que caracteriza a la raza humana, i demás seres que viven i se desarrollan en nuestro planeta.

El planeta Marte tiene atmósfera. I si hai atmósfera, hai agua; i por consiguiente vejetación. No es absurdo entonces suponer que la vida se desarrolle en nuestro vecino planeta, en condiciones parecidas a la nuestra.

En el lejano Neptuno, las condiciones de la existencia serían mucho más diferentes, dada la escasa potencia calórica que el planeta deberá tener. Hai, pues, que considerar en este asunto las diferencias de luz i calor que los planetas reciben del Sol, la intensidad de la gravedad i su mayor o menor densidad.

En la Tierra, un ave de las zonas tropicales moriría

en las zonas polares, i recíprocamente. Ahora bien: la temperatura debe variar en algunos cientos de grados desde Mercurio a Neptuno. Pero no sabemos qué condiciones tendrá la atmósfera de los diversos planetas. Bien pudiera suceder que su composición fuera tal, que disminuyera la intensidad del calor en los planetas intraterrestres; i la aumentara en los planetas exteriores.

Todavía hai que considerar que la vida se adapta al medio en que se desarrolla.

I por último, no es posible suponer que el Supremo Creador del Universo haya hecho escepción en esta materia, de los demás planetas. Posiblemente estos estén habitados por seres con una finalidad diferente de la nuestra.

En todo caso, es preciso no olvidar, como ya se ha dicho, que en este sentido no hai nada de positivo.

§ 18. Distancias de los planetas al Sol. Las distancias de los planetas al Sol, se comparan con la distancia de la Tierra al Sol. Esta distancia se representa por **1**, i es = 150 000 000 de km., próximamente.

También, para los volúmenes, se toma a la Tierra como unidad comparativa.

En los párrafos que siguen, para los efectos de las distancias de los planetas al Sol, no nos referiremos a la **lei empírica de Bode**, que está abandonada por los astrónomos, sino a los cálculos matemáticos que sobre el particular se han hecho.

La lei empírica de Bode fué publicada por dicho astrónomo, en 1778. Lleva su nombre.

Si después de un cero, se escribe una progresión geométrica, cuyo primer término es 3 i la razón es 2, se tiene:

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384.....

Si a cada uno de los términos, incluyendo al cero, se agrega 4, resulta:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388.....

Finalmente, dividiendo por 10, queda:

0,4—0,7—**1**—1,6—2,8—5,2—10—19,6—38,8.....

Si la Tierra dista del Sol por **1**, Mercurio dista 0,4; Venus, 0,7; Marte 1,6, etc., de 150 000 000 km.

§ 19. Mercurio. Distancia al Sol: **0,4** (0,39).

Su distancia a la Tierra varía entre 79 i 218 millones de km.

El diámetro aparente varía entre 5" i 12".

Su órbita es mui excéntrica. Es = $\frac{1}{5}$.

Su distancia al Sol en el perihelio es de unos 40 millones de km., i en el afelio de unos 60 millones. Su digresión es = 29°.

Su **movimiento de traslación** lo efectúa en **88 días**. Es su revolución sideral.

Acerca de su movimiento de rotación, no hai certeza. Piensan algunos que jira, como la Tierra, en **24 horas**. Opinan otros que lo efectúa en 88 días. Es decir, emplearía el mismo tiempo que en su traslación. Si esto fuera lo real, presentaría a la Tierra **siempre** un mismo hemisferio, como pasa con nuestra Luna.

No está bien determinado si tiene atmósfera. Su proximidad al Sol hace que las observaciones no sean mui prolifas.

La revolución **sinódica** es de 115 días. Algunos la fijan en 116.

Su **volumen** es 20 veces menor que el de la Tierra. Es = $\frac{1}{20}$ de ella.

Su órbita está inclinada sobre el plano de la eclíptica unos 7°.

La inclinación de su órbita sobre el plano de su Ecuador, es de unos 70° .

Su masa es de 0,06; su gravedad es $=0,43$ i su densidad $=6,32$.

Por ser planeta interior, tiene fases completas.

No tiene satélites.

Su luz se ha calculado que es 7 veces más intensa que en la Tierra.

A causa de la inclinación relativamente grande del plano de su órbita sobre el plano de la eclíptica, los pasajes de este planeta por el disco solar, no son mui frecuentes. Los hubo en 1894 i 1907. El próximo, según cálculos astronómicos, tendrá lugar el **8 de Mayo de 1924**. I el primer paso **del siglo XXI** tendrá lugar el año 2030.

Las observaciones más antiguas sobre Mercurio, datan del año 265 antes de J. C.

Los antiguos le dieron el nombre de Apolo (dios del día) cuando era estrella matutina; i Mercurio (dios de los ladrones) cuando era vespertina. Creían que eran diferentes.

§ 20. Venus. Distancia al Sol: **$0,72 = 107\,000\,000$ km.**

Jira alrededor del Sol en **225** días, término medio.

En la conjunción superior, dista de la Tierra 257 millones; en la inferior 40 millones de km.

La duración de su rotación es incierta. Se cree sea de 225 días. Algunos piensan que es igual a 23 hs. Su revolución sinódica es **584** días.

La inclinación de su órbita sobre el plano de la eclíptica es de $3^{\circ} 24'$; i la de su Ecuador sobre el plano de su órbita es de unos 75° . Su volumen se aproxima al de la Tierra. Es igual a 0,97. Pero su **masa** es mui inferior a la de nuestro globo. Es $=0,78$.

Su densidad es $=4,35$ i su gravedad es $=0,79$.

Los pasajes de Venus por el disco solar son muy importantes, pues mediante ellos se ha medido la distancia de la Tierra al Sol. Cuando se verifica un paso de Venus, vuelve a repetirse a los **ocho años**. Pero este no se produce indefinidamente, con igual intervalo. Por la variación de las coordenadas de uno de los cuerpos, no pueden verificarse tres pasos sucesivos en un período de 16 años.

En 1874 hubo un paso de Venus. Se repitió en 1882, ocho años después.

Los próximos pasajes de Venus por el disco solar tendrán lugar el 7 de Junio del año 2004 i el 5 de Junio del año 2012.

La máxima elongación de Venus es de 48° .

La órbita de Venus es casi circular. Su excentricidad es por eso casi nula.

El astro que de mayor brillo en el cielo se ve, después de la Luna, es Venus. Es tan brillante, que a veces se le distingue en pleno día. Su diámetro aparente varía entre $9''$ i $62''$.

Venus tiene atmósfera.

Carece de satélites.

§ 21. La Tierra. Distancia al Sol $=1$.

La distancia de la Tierra al Sol es variable, a causa de que su órbita es elíptica.

Es máxima, cuando está en el afelio. Es de 23833 radios terrestres $=151\ 952\ 000$ km.

Es mínima, cuando está en su perihelio.

Es de 23 046 radios terrestres $=146\ 995\ 000$ km.

La distancia media es de 23 423 radios terrestres $=149\ 368\ 471$ km.

En números redondos, se espresa por 23 400 radios terrestres $=150\ 000\ 000$ km.

La idea del procedimiento que se emplea para calcularla, es como sigue:

La paralaje horizontal del Sol es $8'',8$.

Si desde el centro solar S, se describe una circunferencia con radio ST; o sea, con la distancia del centro solar al centro de la Tierra, puede calcularse la longitud de dicha circunferencia. Porque, siendo el ángulo $8'',8$ tan pequeño, el arco que intercepta el radio terrestre, se confunde sensiblemente con él. Luego en la circunferencia de radio ST habrá tantos radios terrestres, como veces $8'',8$ esté contenido en la circunferencia.

Ahora: $2\pi r = 360^\circ = 1\ 296\ 000''$

Luego $2\pi \cdot ST = 1\ 296\ 000'' : 8'',8$

$= 147\ 272$ radios terrestres.

Pero el radio terrestre es, por término medio, $= 6\ 366$ Km.

Luego $2\pi \cdot ST = 147\ 272 \cdot 6\ 366$ Km.

$$ST = \frac{147\ 272 \cdot 6\ 366}{\pi} \text{ Km.}$$

Considerando $\pi = 3,14$ resulta, aproximadamente, la distancia del Sol a la Tierra.

La Tierra jira alrededor del Sol en un año, i sobre su eje en 24 horas.

Tiene un satélite: la Luna.

§ 22. Marte. Distancia del Sol: $1,52 = 226\ 480\ 000$ km.

Su distancia a la Tierra varía entre 0,38 i 2,66.

Su exentricidad es $= \frac{1}{11}$.

Su órbita está inclinada sobre el plano de la eclíptica por $1^\circ 50'$. I la inclinación con respecto a su Ecuador, es de unos 25° . (Hai disconformidad sobre esto).

Jira alrededor del Sol en 687 días; cerca de dos años.

Su movimiento de rotación lo efectúa en $24\frac{1}{2}$ horas (24 h. 37 m.)

Su masa es 10 veces menor que la de la Tierra. Su densidad es de 3,8 i su gravedad es igual a 0,37.

Marte es menor que la Tierra. Es 7 veces menor.

Su diámetro aparente varía entre $3''{,}5$ i $24''$.

Marte aparece a la simple vista como una estrella de color **rojo**.

Cuando el planeta está en su perihelio i la Tierra cerca de su afelio, Marte brilla con una intensidad que rivaliza con la de Júpiter. Esto ocurre en intervalos de 15 años. Se verificó en 1909; volverá a brillar con inusitada intensidad en 1924.

Marte tiene atmósfera.

Su superficie se ve cubierta de manchas grises, que se cree sean continentes. En otras partes se ven manchas de un verde oscuro o tinte azulado. Se las considera como porciones de agua. Supuesta efectiva esta cuestión, la relación entre tierra i agua sería allá a la inversa de lo que pasa en la Tierra: aquí cada continente es una isla; allá cada mar sería un lago.

En el brillo de algunas partes del disco hai cambios constantes, que posiblemente se deban a la variación de las nubes de vapor en su atmósfera.

En los polos del planeta se ven manchas blancas. Se cree estén formadas por masas de nieve. La mancha que corresponde al verano de Marte decrece en blancura en esta estación: la nieve se derrite. El fenómeno inverso pasa en el otro polo: aumenta eu blancura.

En el verano de 1894 se observó por primera vez que la mancha blanca del polo sur de Marte desapareció totalmente.

En la superficie de Marte se ven líneas rectas, delgadas, que unen las manchas oscuras. Estas rectas

se designan con el nombre de **canales**. En 1881 cada canal presentó una recta adyacente paralela, semejando la imagen del canal. Este fenómeno se conoce con el nombre de **jeminación** de los canales de Marte. ¿Qué son los canales? Nada de fijo hai aún sobre esto. Es mui posible que sean una obra de los seres **inteligentes** que lo habitan, como es posible también que se deban a grandes grietas en la corteza del planeta. En todo caso, no pasará mucho tiempo, dados los progresos de la ciencia, sin que este fenómeno sea puntualizado con exactitud.

Marte tiene dos satélites. Se les llama **Deimos** i **Phobos**. Fueron descubiertos por el astrónomo americano Asaph Hall, en 1877.

Phobos jira alrededor de Marte en 7 horas 39 minutos 15,5 segundos.

Deimos jira en 1 día 6 horas 17 minutos 33,9 segundos.

Ambos satélites brillan como una estrella de 13^{ava} magnitud.

La fig. 49 da una idea del aspecto telescópico de Marte.

§ 23. Planetoides. Los pequeños planetas o **asteroides**, como también se les llama, están entre Marte i Júpiter, fig. 50. Corresponden al número 2,8 de la lei de Bode. De modo que su existencia fué sospechada con anterioridad.

El 1.º de Enero de 1801, o sea el primer día del **siglo XIX**, el astrónomo **Piazzi**, de Palermo, descubrió el primer planetode. Lo llamó **Ceres**. Pronto se descubrieron otros. I hoi el número que de ellos se conoce, fluctúa alrededor de 700. ¿Cuántos serán? Leverrier ha calculado que estos pequeños planetas deben ser unos 150 000.

Los planetoides son visibles con el teleseopio; pero

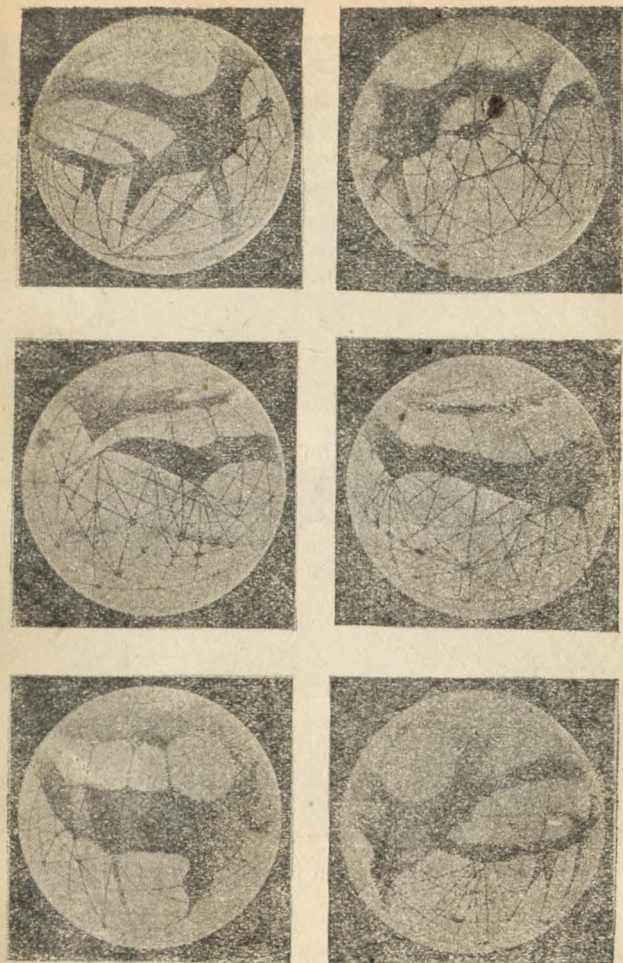


Fig. 49

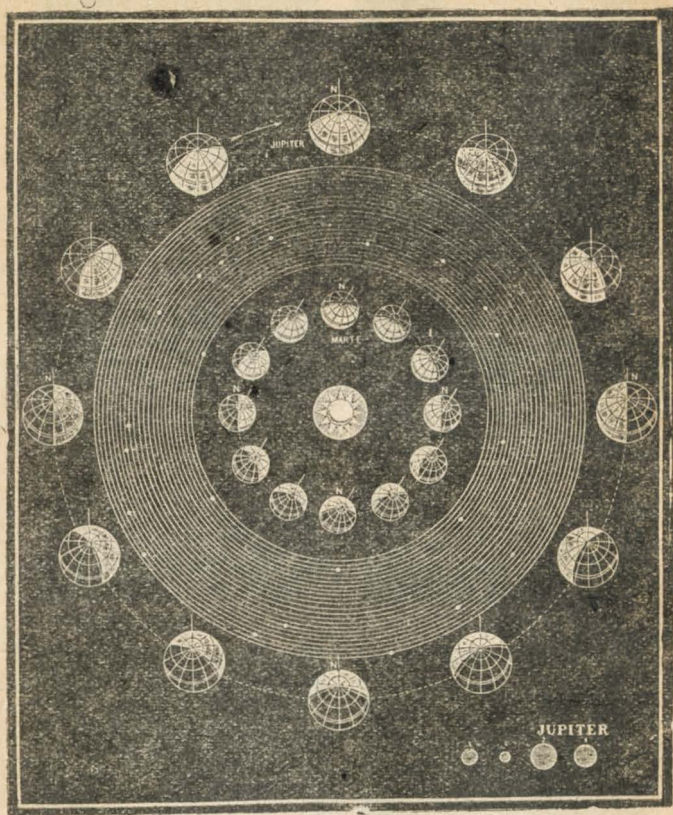


Fig. 50

Ceres i Vesta, en su menor distancia a la Tierra, aparecen como estrellas de 6^a magnitud; i por consiguiente, son visibles a la simple vista.

El planetoide **Eros** es el que más se aproxima a la

Tierra. Esta circunstancia la han aprovechado los astrónomos para determinar por medio de él la paralaje del Sol.

Eros fué descubierto por medio de la fotografía. Cupo este honor a **Witt**, de Berlín, en Agosto de 1898.

La órbita de Eros es mui excéntrica. Por eso se aproxima mucho a nosotros. Tuvo su mínima distancia a la Tierra en 1893, i volverá a tenerla en 1924.

Las posiciones más favorables de Eros tienen lugar en los meses de Enero i Febrero.

¿Cuál es el origen de los pequeños planetas? Algunos de ellos, según algunos astrónomos, tienen forma poliédrica. Esto hace suponer que sean el resultado de la explosión de algún planeta, en épocas mui remotas. A haber existido este planeta entre Marte i Júpiter, su masa debió ser superior a la de Marte; pero inferior a la de la Tierra.

¿Pero son en realidad la resultante de la explosión de un planeta? ¡Misterio! Acaso tengan el mismo origen que todo el sistema solar.

El tiempo es la más sabia de las cosas. El nos dirá, en el correr de los años, cuál es su origen, como descubrirá el velo de tantos secretos que hoy son el rompecabezas de los sabios.

Obsérvese el dibujo 50. ¿Qué posición tiene el eje de Marte en sus distintas posiciones? ¿Idem. el de Júpiter?

§ 24. Júpiter. Distancia del Sol: **5,2.** Su distancia al Sol varía entre 740 i 814 millones de km.

Su distancia a la Tierra fluctúa entre 580 i 960 millones de km.

Jira alrededor del Sol en 12 años, i alrededor de

su eje en **10 horas**. A causa de su rápida rotación es muy **achatado** en los polos.

El achatamiento de un planeta es una consecuencia de su movimiento de rotación, i hace que se distinga el radio ecuatorial del radio polar.

• El radio ecuatorial es mayor.

El achatamiento de un planeta es igual al radio ecuatorial menos el radio polar, partido por el radio ecuatorial.

$$\text{Ach} = \frac{R_e - R_p}{R_e}$$

El valor del achatamiento de Júpiter es $= \frac{1}{17}$.

En cambio, el achatamiento de Mercurio, Venus i Marte, es pequeño, ya que su volumen también lo es, i el tiempo en que efectúan su rotación es mayor que el que emplea Júpiter.

La inclinación de su órbita sobre el plano de la Eclíptica es de $1^{\circ} 18'$; i con respecto al plano del Ecuador es de 4° .

Su masa es $= 309,8$; su densidad es $= 1,3$ i la gravedad es $= 2,23$.

Júpiter es el mayor de todos los planetas. Es 1400 veces mayor que la Tierra. Es más grande que todos los planetas juntos.

Si su centro se le hiciera coincidir con el centro lunar, su disco abarcaría más de 1500 veces el área aparente del disco de este satélite.

Comparándolo con el Sol, se necesitarían unos 1000 globos iguales. Es $= \frac{1}{1000}$ del volumen del Sol.

Su órbita no es muy excéntrica. Es $= \frac{1}{20}$. Su diámetro aparente varía entre $30''$ i $50''$.

Júpiter tiene su mayor brillo en la oposición.

En la superficie de este planeta, i hacia la rejión ecuatorial, existen fajas o bandas paralelas, más o

menos oscuras. Se notan también algunas manchas. Ambas son variables.

Tiene atmósfera: se deduce de la mutabilidad de las manchas i de la ocultación de las estrellas.

Se cree que este planeta esté aún en formación.

Júpiter tiene más lunas que los planetas anteriores.

Galileo, el 7 de Enero de 1610, descubrió **cuatro** satélites. Un contemporáneo de Galileo, **Simón Marius**, designó a estos satélites con los nombres de Io, Europa, Ganimedes i Calixto. Ganimedes suele ser visible a la simple vista.

Estos satélites se mueven casi en el plano del Ecuador.

Jiran: Io,	en	1	día	18	horas	27	m.	33	s.
Europa,	»	3	»	13	»	13	»	42	»
Ganimedes,	»	7	»	3	»	42	»	33	»
Calixto,	»	16	»	16	»	32	»	11	»

Ganimedes es el mayor. Calixto es tan grande como Mercurio. Io i Europa tienen un volumen casi igual al de nuestra Luna. Obsérvese el diagrama de la figura 51.

En Setiembre 9 de 1892, el astrónomo norteamericano **Emerson**, descubrió un quinto satélite. Este es el más próximo a Júpiter. Tarda 11 horas 57 minutos 22 segundos en jirar alrededor del planeta.

El 3 de Diciembre de 1904, el astrónomo **Perrine**, del observatorio de Lick, en California, descubrió un sexto satélite; i el 2 de Enero de 1905 el mismo astrónomo descubrió un sétimo satélite, que recorre su órbita en 265 días.

Finalmente, el 27 de Enero de 1908, el astrónomo **Melotte**, del observatorio de Greenwich, descubrió

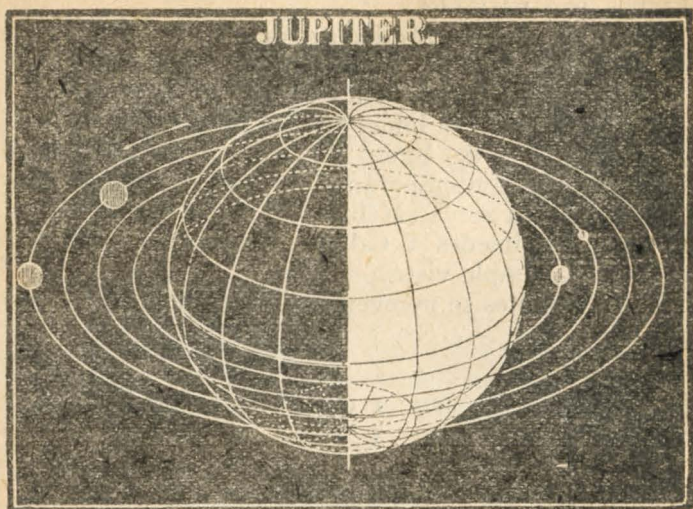


Fig. 51

un octavo satélite, que describe su trayectoria en 2 años 2 meses.

Como el planeta Júpiter es tan grande, proyecta tras de sí un enorme cono de sombra, que pasa más allá de la órbita del cuarto satélite. Los tres primeros satélites penetran en cada revolución en este cono de sombra. Los satélites no se ven entonces; están **eclipsados**.

Por medio de los eclipses de los satélites de Júpiter, se ha determinado la velocidad de la luz. Es = **300 000 km. por segundo**.

§ **25. Saturno.** Distancia del planeta al Sol: **9,5.**
Su mínima distancia a la Tierra es de unos 1180 millones de km. Su distancia media al Sol es 10 veces mayor que la terrestre.

Su órbita está inclinada $2^{\circ} 29'$ sobre el plano de la Eclíptica, i 28° con respecto al plano de su Ecuador.

Su revolución sideral la efectúa en **$29\frac{1}{2}$** años, poco más o menos. Su marcha es entonces mui lenta. De modo que una vez localizado a la simple vista en el cielo, es fácil para un observador volverlo a encontrar de un año para otro.

Este es el último de los planetas conocidos de los antiguos, i a causa de su lento movimiento, lo consideraron como el **símbolo de la pereza.**

Sobre su eje jira en **$10\frac{1}{4}$ hs.**

Es 720 veces mayor que la Tierra; i dada la velocidad de su rotación, su achatamiento es también mui grande: es $\frac{1}{9}$

La exentricidad de su órbita es $= \frac{1}{18}$.

En la superficie de Saturno se observan bandas semejantes a las de Júpiter; pero son menos oscuras i más anchas; i su mutabilidad no es tan grande como en las de aquel planeta.

Las manchas han servido para calcular el tiempo de su rotación.

La masa de Saturno es de 91.8; su densidad es de 0,69 i la gravedad de 0,88.

En 1610, al observar Galileo el planeta, vió una especie de apéndices luminosos a ambos lados de él; i de los cuales decía que «eran como dos servidores que ayudan al viejo Saturno a efectuar su caminata, permaneciendo siempre a su lado». Más tarde estos supuestos apéndices desaparecieron, i Galileo murió sin haber resuelto el problema.



Huyghens, 1629-1695

En 1655, 40 años más tarde, **Huyghens**, demostró que los tales apéndices de Saturno forman **un anillo** que rodea al planeta.

Huyghens nació en Holanda. Contribuyó al desarrollo de la Astronomía con la aplicación del péndulo a los relojes, i con el perfeccionamiento de los anteojos, que le permitieron demostrar la existencia de los anillos de Saturno. Sus estudios matemáticos sobre las fuerzas centrífugas lo aproximaron a un paso del gran descubrimiento de Newton.

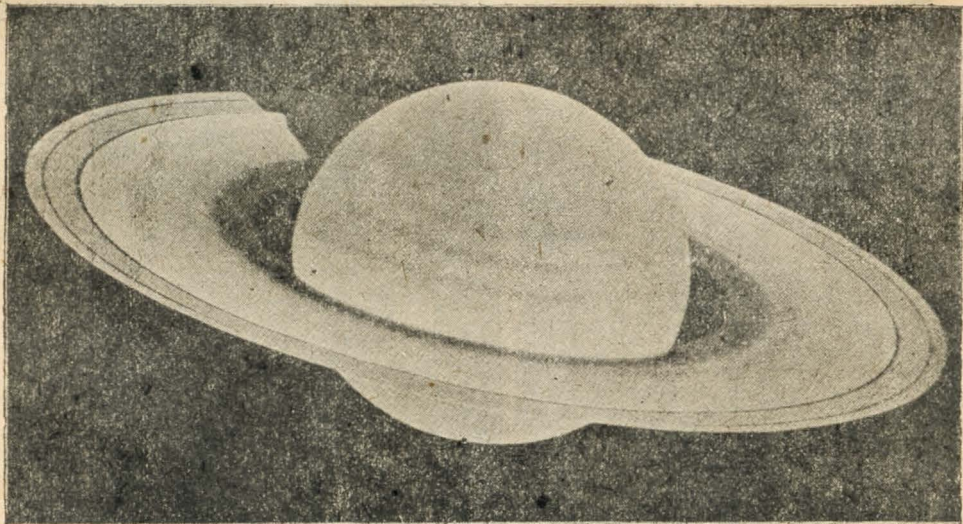
Los anillos rodean al planeta en el plano de su Ecuador. Es una serie de tres. El exterior está separado del central por una notable quebradura. El anillo interior parece junto al central.

Estas tres partes difieren en brillo. El exterior es de un tinte gris. El central es el más brillante: es más luminoso que el mismo planeta. El interior es más oscuro. El anillo exterior i el central, al parecer son opacos, i proyectan en el planeta una sombra apreciable. El anillo interior es trasparente, a través del cual puede verse la superficie del planeta. Obsérvese la fig. 52.

Los anillos jiran alrededor de Saturno, en la misma dirección que el de su movimiento de rotación. La orilla interna de cada anillo jira más ligero que la parte esterna.

¿Cuál es la constitución de los anillos?

Se supone que sea una nube, si así puede decirse, de



Saturno i sus anillos.—Fig. 52

satélites, tan pequeños, que no pueden percibirse directamente con los más poderosos anteojos.

Ultimamente se ha emitido la teoría, por **Birkeland**, de que parte de los anillos de Saturno «es producida por una emisión eléctrica del planeta, como un effluvio luminoso, como una descarga en un gas enrarecido».

Los anillos de Saturno no son siempre visibles. Tienen fases. Cuando su plano pasa por el Sol, al describir el planeta su trayectoria, no se ven. Esto ocurre dos veces en cada revolución del planeta. Es decir, cada **15** años. En el dibujo de la fig. 53 puede observarse esta explicación.



Fig. 53

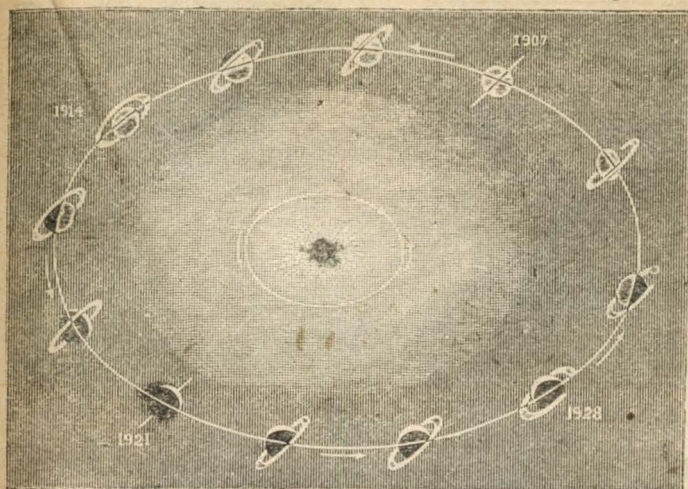


Fig. 54

En el dibujo de la figura 54, se ve cómo fue el aspecto de los anillos en 1907 i en 1914; i cómo se les verá en 1921 i en 1928.

Saturno tiene **10 satélites**.

En la figura 55 se ve el planeta con ocho de ellos.

El siguiente cuadro indica sus nombres, con el de los astrónomos que los descubrieron.

También se da la fecha.

El primer número de orden romano, indica su proximidad o lejanía del planeta.

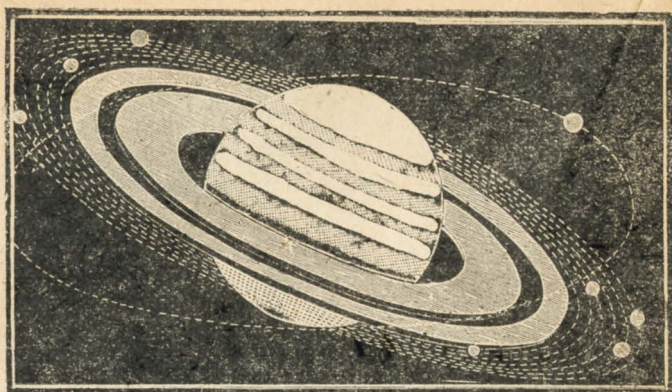


Fig. 55

I	Mimas	W. Herschel	18— VII	—1789
II	Encélado	»	29— VIII	—1789
III	Tethys	J. D. Casini	21— III	—1681
IV	Dioné	»	21— III	—1681
V	Rhea	»	23— XII	—1672
VI	Titán	Huyghens	25— III	—1655
VII	Themis	Pickering	16— IV	—1904
VIII	Hiperión	Bond	16— IX	—1848
IX	Japet	J. D. Casini	25— X	—1671
X	Febe	Pickering	16— VIII	—1898

El último tiene movimiento **retrógrado**.

§ **26. Urano.** Distancia al Sol: **19,2=19** veces más que la Tierra.

Su velocidad es 4 veces menor que la de la Tierra.

En la oposición, Urano brilla como una estrella de **sesta** magnitud. Puede, pues, verse a la simple vista.

Jira alrededor del Sol en **84** años.

Se han observado manchas i bandas en su superficie. Su rotación es incierta.

Es **79** veces mayor que la Tierra. La inclinación de su órbita sobre el plano de su Ecuador es de **89°**, casi perpendicular, mientras que la inclinación sobre el plano de la Eclíptica es apenas de **46'**.

Urano fué descubierto casualmente.

Observaba Herschel, el 13 de Marzo de 1871, un grupo de estrellas situado en la constelación de los Gemelos, cuando se proyectó en el campo del anteojo una estrella de diámetro sensible. Al principio creyó que era un cometa; i así lo anunció a sus demás colegas. Pero mui pronto los cálculos de **Lexell** i **Laplace** comprobaron que era un nuevo planeta.

A este planeta suele también designársele con el nombre de su descubridor: Herschel.

William Herschel nació en Hanover, de padres sin fortuna. A los 18 años fijó su residencia en Inglaterra. Aquí, para poder ganarse la vida, se hizo profesor de música, sin descuidar por cierto el cultivo de las ciencias, principalmente de la Astronomía. Sus recursos eran tan escasos, que no podía adquirir instrumentos para ocuparse del estudio del cielo. Entonces él mismo se construyó un anteojo de 1,50 m. de distancia focal.

El rei Jorje III, que amaba la ciencia, le decretó una pensión vitalicia.



Herschel, 1738-1822

Herschel era ayudado, en sus cálculos matemáticos, por su hermana **Carolina**.

Urano tiene cuatro satélites, que se mueven casi en un mismo plano. Este plano es sensiblemente perpendicular al plano de la Eclíptica. Por esta razón los satélites se **mueven en sentido retrógrado**.

§ **27. Neptuno.** Distancia al Sol: **30** = unas 30 veces la distancia de la Tierra al Sol.

Dista de la Tierra unos 4 400 millones de km.

Jira alrededor del Sol en **165** años. Se ignora cuáles el período de su rotación. Es **55** veces mayor que la Tierra.

Tiene un satélite. Fué descubierto por Lassell, el 10 de Octubre de 1846. Se mueve en sentido retrógrado. Jira alrededor de él en 5 días, 21 horas, 2 minutos, 38 segundos.

El planeta Neptuno fué descubierto por el cálculo matemático.

Cupo este honor a Le Verrier, célebre astrónomo francés.



Le Verrier, 1811-1877

En 1790, la Academia de Ciencias de París ofreció un premio para la mejor efemérides de Urano. **Delambre** i **Bouvard** se ocuparon de este asunto; pero con resultados poco satisfactorios.

Dirijía el Observatorio de París **Arago**; i éste aconsejó a Le Verrier se preocupara del estudio de las perturbaciones de Urano.

Le Verrier era profundo en el análisis matemático.

Puesto a la obra, empezó por rechazar los cálculos de Bouvard. I después de una enorme labor, llegó a la conclusión de que la acción del Sol, i de los demás planetas conocidos, no eran suficientes para producir las perturbaciones de Urano. Supuso entonces un nuevo planeta, como lo había ya predicho **Bessel**.

Fundado en algunas consideraciones, estableció que el planeta desconocido debería distar del Sol dos veces la distancia de Urano.

El problema ahora era este: «conocidas las perturbaciones de Urano, determinar la masa del cuerpo que las produce, la forma i posición de su órbita, i el lugar que el planeta debería ocupar en el cielo en una época determinada».

El 31 de Agosto de 1846, Le Verrier presentó a la Academia de París el resultado de sus estudios. En él establecía que el planeta desconocido debería buscarse a unos 5° al oriente de la estrella δ de la constelación de **Capricornio**. Al mismo tiempo comunicó esto al astrónomo **Galle** de Berlín, para que buscara el planeta en la rejión dicha. Enfocó Galle su antejo en la dirección indicada; i ahí estaba el planeta....

Esto tuvo lugar del 23 al 24 de Setiembre de 1846.

Esto fué un gran triunfo del análisis matemático. Con razón Arago exclamó: «**Le Verrier ha encontrado el nuevo planeta con la punta de su pluma**».

C. COMETAS.

§ 1. Aspecto de un cometa. Un cometa se compone de una masa redonda, de aspecto nebuloso, que se llama **cabeza del cometa**.

En el centro de la cabeza se ve un **núcleo** brillante. Parece ser una condensación de la materia nebulosa.

La parte nebulosa, que rodea a la cabeza de un cometa, es la **cabellera**. La cabellera se prolonga en sentido opuesto al Sol. Esta prolongación constituye la cola del cometa.

Un cometa se presenta primero en forma redonda, sin indicios de cola. Semeja una nebulosa pálida en cuyo centro brilla un punto. Este punto se inclina más del lado del Sol, a medida que el cometa se aproxima al astro central.

La cola se forma i desarrolla a medida que el cometa se acerca a él. Está siempre opuesta al Sol.

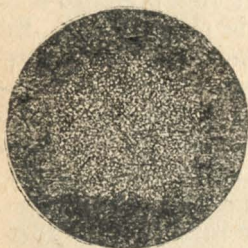


Fig. 56

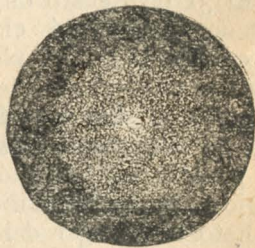


Fig. 57

La cola adquiere su mayor desarrollo cuando el cometa está en su perihelio. A partir de este punto, la cola disminuye, hasta que otra vez el viajero celeste presenta la primitiva forma redonda. Después se pierde en los espacios.

De lo dicho se desprende que la cola se forma a expensas de la cabeza, i bajo la influencia del Sol.

Hai también cometas sin colas, i otros con varias colas.

También los hai sin núcleos.

En las figuras 56 i 57 se muestran dos cometas; el

de la izquierda carece de núcleo i cola. El de la derecha carece de cola.

En 1744 apareció un cometa con colas múltiples. El dibujo de la figura 58 da una idea de su aspecto.

Los cometas se mueven con enorme rapidez, i cruzan el cielo en todas direcciones, dirigiéndose siempre hacia el Sol.

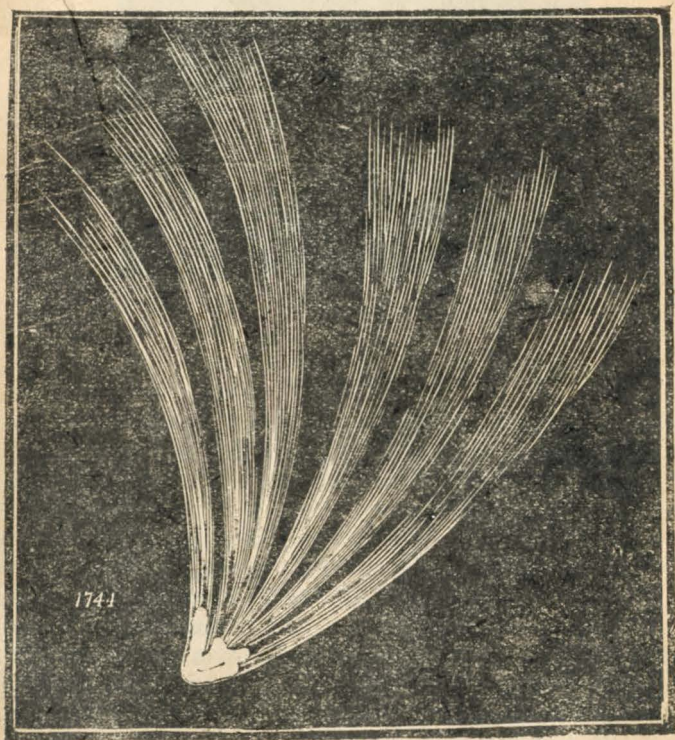


Fig. 58



Fig. 59

§ 2. Magnitud de los cometas. Los cometas pueden clasificarse en visibles i telescópicos. Los últimos se ven sólo con un antejo.

Los cometas visibles suelen tener proporciones enormes.

En 1811 apareció uno que, según cálculos de Herschel, el diámetro de la cabeza era igual a **120** veces el diámetro de la Tierra, o sea **4 veces** la distancia de la Luna a la Tierra, poco más o menos.

Su cola era acaso más larga que la distancia del Sol a la Tierra.

El núcleo era de un color rojo pálido. La nebulosidad que le rodeaba tenía un color verdoso.

La figura 59 es una fotografía de dicho cometa.

En 1843 apareció un cometa cuya cola tenía una distancia doble de la que hai del Sol a la Tierra.

§ 3. ¿Qué son los cometas? Sobre la constitución física de los cometas

no hai hasta hoy gran cosa resuelta.

Los cambios que sufren durante el curso de su aparición, i que a veces se suceden con asombrosa rapidez, indican que su constitución es un tanto diferente de la de los demás cuerpos celestes.

La materia de que se compone la cola es tan tenue, que a través de ella se ven las estrellas.

Por medio del análisis espectral, se ha encontrado que el espectro luminoso de todos los cometas es semejante, coincidiendo con el de los **hidrocarburos** incandescentes, o bien con los de estos mismos, muy enrarecidos, e iluminados por el fluido eléctrico. Dedúcese de aquí que en los cometas deben existir hidrocarburos gaseosos, iluminados por la acción del calor i de la electricidad.

Que la acción del calor solar i de la electricidad tienen influencia en el brillo, formación de la cola, i la concentración de la masa cometaria en el núcleo, es cuestión que no admite dudas. **Olbers**, «atribuye a la proximidad del cometa al Sol un desarrollo de electricidad en ambos astros; de aquí nace una acción repulsiva del Sol i otra acción repulsiva del cometa sobre la nebulosidad que lo rodea».

Como Olbers opinaba Herschel.

Bessel creía que en esto debería talvez tener influencia la acción magnética.

Se ha dicho que en la materia cometaria abundan los hidrocarburos. También existen el fierro, el sodio i el magnesio, en estado de vapor.

Los cometas presentan una curvatura en su cola.

A este respecto se piensa que, si la materia cometaria es muy densa, la curvatura de la cola sería grande. Si es poco densa, la cola se debería a la repulsión de los hidrocarburos. Si las colas son derechas, se deberían al hidrógeno.

§ 4. Órbitas cometarias. Los planetas giran todos en órbitas elípticas alrededor del Sol.

Con todos los cometas no pasa así. Hai algunos que describen una elipse. Se les llama **cometas periódicos**, porque se les vuelve a ver después de cierto período de tiempo. Pero hai otros que describen órbitas abiertas. A estos se les ve una vez en su perihelio. Se alejan después, i se pierden para siempre en las profundidades infinitas de los espacios siderales!...

La figura 6o muestra el camino de un cometa aparecido en 1680.

§ 5. Cometas periódicos. Se conocen actualmente más o menos 20 cometas periódicos, de los cuales los astrónomos han calculado los elementos de sus órbitas.

Los elementos de una órbita cometaria son:

1. La inclinación.
2. La longitud del nodo ascendente.

Estos dos elementos determinan la posición del plano de su órbita, con relación al plano de la Eclíptica.

3. La longitud del perihelio. Esta sirve para orientar la parábola en su plano.

4. La distancia perihélica. Este elemento permite averiguar a qué distancia mínima se encuentra el cometa del Sol. En este cálculo se toma como unidad la distancia de la Tierra al Sol.

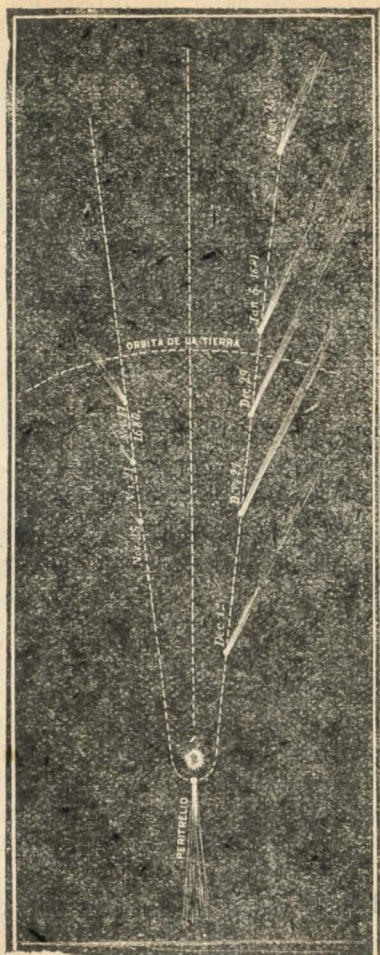


Fig. 60

5. La época del perihelio. Esto permite saber cuándo el cometa fué observado.

Se dan a continuación lijeros detalles de algunos cometas periódicos:

I. Cometa de Encke. Este cometa fué observado en 1818 por **Pons**, en Marsella. Encke calculó su órbita por esta sola aparición; i encontró que su período de revolución era de $3\frac{1}{2}$ años, para hablar en términos jenerales. Su órbita está encerrada en la de Júpiter.

La fig. 61 representa a este cometa en su aparición en 1825.

Antes de la fecha indicada, este cometa había sido observado por **Carolina Herschel**, en 1795.

Como puede verse en el dibujo, es de forma redonda.

Este cometa ha presentado un fenómeno curioso: una **disminución bien sensible en el tiempo de su revolución**. Esta disminución lójicamente habrá hecho disminuir las dimensiones de su órbita.

¿La causa de ésto? Encke la esplica así: el éter que los astrónomos suponen entre los espacios planetarios, i que propaga las ondas luminosas, no opone resistencia sensible a las grandes masas de los planetas. Pero la materia cometaria es mui tenue; i sobre ella puede ejercer una resistencia sensible que esplicaría la disminución de los elementos de su órbita.

¿Se precipitará algún día sobre el Sol? ¡Quién sabe!..

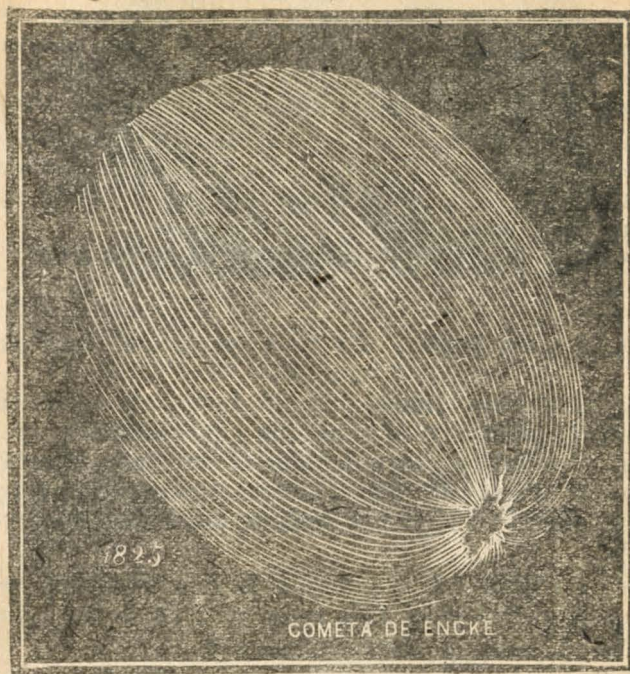


Fig. 61

II. Cometa de Biela o de Gambart. Fué observa-

do por primera vez el 27 de Febrero de 1826 en Johannisberg, por **Biela**, comandante austriaco. Pocos días después, lo observó **Gambart** en Marsella. Calculó éste los elementos de su órbita. Encontró para su revolución un período de $6\frac{1}{2}$ años. Hecho el cálculo, se fijó su vuelta para el 27 de Noviembre de 1832. I el cometa se vió efectivamente el 26 de Noviembre de dicho año.

Hubo un día de diferencia; pero hai que tomar en cuenta la influencia que los grandes planetas ejercen sobre los cometas, cuando pasan mui cerca de ellos. Este mismo cometa había aparecido en 1772 i 1805.

El cometa Biela ha sido observado en siete de sus regresos: 1826-1832-1846-1852. En 1839 no se le vió a causa de la situación desfavorable en su órbita, al pasar por el perihelio.

Desde 1852 el cometa Biela **no se ha vuelto a ver.**

III. Cometa Halley. En 1682 apareció un hermoso cometa.

El astrónomo **Halley** calculó inmediatamente su órbita. Comparando el resultado con observaciones i cálculos anteriores, encontró que el cometa en estudio seguía la misma ruta que el cometa observado en 1607 por Képler; i en 1531 por **Apiano**, astrónomo de Carlos V.

Esto lo llevó a la conclusión de que estos tres cometas eran uno solo. Fijó como período de su revolución 75 años, en números redondos.

Halley fijó su regreso para 1759. I efectivamente, el cometa pasó por el perihelio el 12 de Marzo de dicho año. Setenta i cinco años más tarde volvió a pasar por el perihelio el 16 de Noviembre de 1835.

En conformidad a los cálculos de Halley, este cometa nos visitó en Mayo de 1910; el año de nuestro **Gentenario de la Independencia.**

Como un mensajero celeste, parece hubiera venido a participar del entusiasmo cívico de los ciudadanos, trayéndonos un cariñoso saludo de lejanas rejiones del Universo.

Volverá alrededor de 1985.

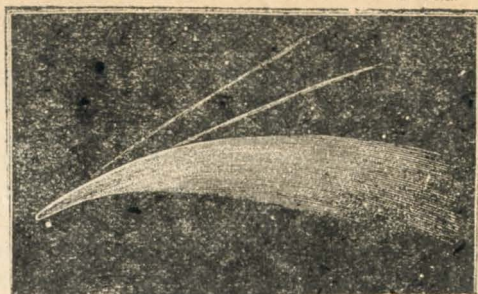


Fig. 62

IV. Cometa de Donati. Apareció en 1858. Fué observado por primera vez por **Donati**, en Florencia. Este cometa, aunque pequeño, no ha sido hasta hoy excedido en el brillo de su núcleo, ni en la forma, por decir así, elegante de su cola. Por estas dos causales, este cometa llamó la atención.

Se ha calculado que volverá dentro de unos 2 000 años.

El dibujo de la fig. 62 representa al cometa de Donati.

§ 6. Segmentación de cometas. El cometa Biela presentó, en 1845, un fenómeno mui singular. Hasta esa fecha, el cometa se había presentado en forma de una nebulosa redonda, parecida al cometa Encke.

En 1845, apareció en igual forma. El 10 de Diciembre se alargó en forma de pera. I el 29 del mismo mes, el cometa se desdobló: un cometa más pequeño, i en igual forma, apareció al lado de él. Cada uno tenía una cola pequeña. Ambos cometas se alejaron simultáneamente hasta hacerse invisibles.

En 1852, el cometa volvió a aparecer doble: pero habían tomado otra vez la forma redonda.

La fig. 63 muestra a este cometa con su compañero de viaje.

Después, este cometa no se ha vuelto a ver.

Debía reaparecer en 1877. En la noche del 27 de Noviembre de este año, día en que el cometa, según cálculos, debía cortar el plano de la Eclíptica, se observó una lluvia de **estrellas fugaces**. Este fenómeno duró desde las 7 P. M. hasta la 1 A. M. El foco radiante de esta excepcional aparición de estrellas filantes, parecía estar en la estrella gamma de la constelación de **Andrómeda**. El Padre **Secchi** calculó el número de estrellas fugaces que se vió, en unas 160 000.

Esta maravillosa irradiación de estrellas, ¿no sería el resultado de la disgregación del cometa Biela?

El desdoblamiento del cometa Biela, da visos de verdad a la afirmación de algunos antiguos sobre fe-

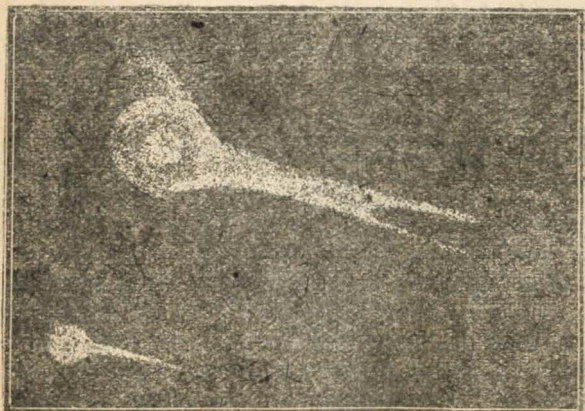


Fig. 63

nómenos parecidos. Así, Demócrito, según el decir de Aristóteles, había referido el hecho de la transformación de un cometa en ¹³estrellas.

Antes de la muerte de **Agripa**, se refiere también que un cometa se resolvió en varias estrellas pequeñas.

Biot, según informaciones recojidas entre los chinos, dice haber ocurrido una aparición de tres cometas el año 896. Recorrían juntos su órbita.

En 1882, apareció un precioso cometa cuyo núcleo, que era redondo, se dividió en cinco partes muy distintas. Se observaron, además, en sus cercanías, i a menos de 4º de distancia de él, tres pequeños cometas. Estos, indudablemente, eran la resultante de la segmentación del cometa principal.

¿Cuál es la causa de estos fenómenos? Nada se sabe. Pero es muy probable que la enorme cantidad de calor que estos astros reciben del Sol en su paso por el perihelio, tenga en ello una influencia muy principal, pues hai algunos que pasan muy cerca de él. El gran cometa de 1843, por ejemplo, pasó tan cerca, que su distancia perihélica fué apenas de $\frac{1}{6}$ del radio solar.

§ 7. Choque de un cometa con la Tierra. Muy alar-

mada estuvo gran parte de la humanidad, en épocas pasadas, por el anuncio de un posible choque del cometa Biela con la Tierra. ¿Será esto alguna vez posible? Dado el armonioso conjunto de las leyes que rigen el Universo, no es aventurado suponer que esto no sucederá jamás. Pero, en la hipótesis de que esto sucediera, ¿qué consecuencias tendría? Se entra aquí en el terreno de las conjeturas.

Considerando que la materia cometaria es tan tenue, su choque con la Tierra talvez no produciría en su movimiento más efecto que el que producen las

densas nubes, que arrastradas por los fuertes vientos invernales, chocan con las enhiestas cumbres de los Andes. I como nuestra atmósfera es más densa, es mui posible que el núcleo cometario fuera desviado de su ruta, rozándonos apenas la materia cósmica de su cola. I según observaciones hechas en 1783, parece que en este año la Tierra se vió envuelta en la cola de un cometa. Una niebla clara, fosforescente, la cubrió. Se extendía desde el Africa hasta la Suecia. Se la notó también con el continente americano. Las fuertes lluvias no la hacían desaparecer. Carecía de la humedad característica de las nieblas comunes, i se le veía aparecer en todas direcciones, por las diversas corrientes aéreas. Su fosforecencia era tal, que los objetos podían percibirse en la noche, sin luna, a unos 150 metros. El Sol no se veía, sino cuando estaba a unos 12° sobre el horizonte. Después, tampoco resplandecía, sino que presentaba un color rojo.

En 1831 hubo otra niebla parecida.

D. EXHALACIONES METEÓRICAS.

§ 1. Estrellas filantes. Con frecuencia se ven cruzar el cielo algunos puntos brillantes, semejando estrellas que se desprenden de la Bóveda celeste. Se las designa con el nombre de **estrellas filantes** o **estrellas fugaces**.

Estas estrellas se mueven con enorme rapidez, i con una luz mui intensa al principio. A veces dejan tras de sí una huella luminosa, como un volador de luces.

La altura a que estas exhalaciones se verifican, fluctúa entre 80 i 120 km.

Estas exhalaciones se ven cruzar el cielo en todas direcciones; pero se notan más desde el **Este** que del **Oeste**; i casi en igual número del **Norte** que del **Sur**.

§ 2. Periodicidad de las exhalaciones. El número de exhalaciones presenta variaciones periódicas, en el curso de una noche i de un año. Es mayor por la mañana. Tiene su máximo al clarear el día, i su mínimo en las primeras horas de la noche. En un año, el máximo tiene lugar desde el primero de Julio al primero de Enero. En estas variaciones el máximo es cerca de $2\frac{1}{2}$ veces mayor que el mínimo.

Fuera de esta periodicidad de las exhalaciones, ha habido apariciones extraordinarias. Del 11 al 12 de Noviembre de 1799, **Humboldt** presencié en América una verdadera lluvia de estos meteoros. El mismo fenómeno se reprodujo el 13 de Noviembre de 1833. Hubo un período de 33 años. I las estrellas fugaces parecían partir desde un mismo punto del cielo, en la constelación del León.

Otra noche abundante en exhalaciones es la del 9 al 10 de Agosto. Estas parecen partir de un punto situado en la constelación de Perseo.

§ 3. ¿Qué son las exhalaciones? Las estrellas fugaces son masas meteóricas, que penetran en las altas rejiones de la atmósfera; i que, caminando con gran velocidad, al rozar con ella, se desarrolla un gran calor. Se inflaman entonces, adquieren una gran temperatura; i la volatilización de la masa meteórica se produce.

En nuestro pueblo, es corriente oír decir, que es-

trella que cae, es alma que se va. Esta creencia guarda relación con la siguiente leyenda antigua: «Cuando un niño viene al mundo, la Parca teje para él el hilo del Destino. Cada hilo termina en una estrella. Cuando el niño muere, la estrella se rompe, palidece i al fin se apaga».

Aristóteles pensaba que las estrellas filantes eran sustancias producidas por la Tierra, que se inflamaban al llegar a las rejiones superiores de la atmósfera.

§ 4. Bóldos i Aerolitos. En vez de una estrella filante, suele verse cruzar el cielo una especie de globo inflamado, de luz mui viva, i que a veces estalla, con ruido mui fuerte. Esto es un **bóldo**. El estallido rompe la masa de que

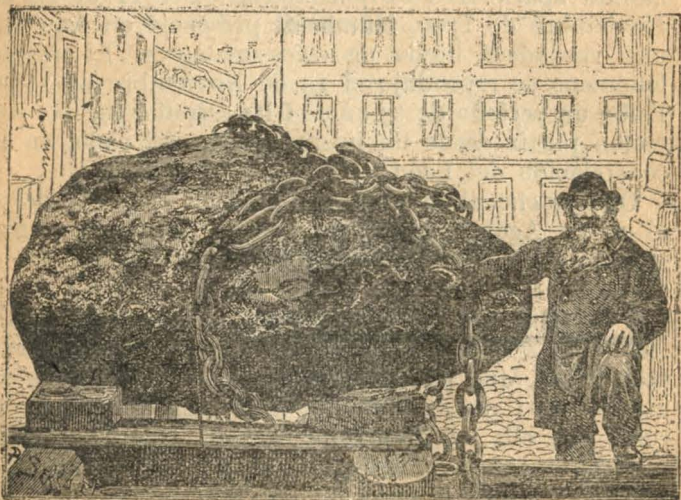


Fig. 64

el bólido se compone, dividiéndolo en pedazos, que caen a la Tierra. Estos son los **aerolitos**.

Los bólidos pueden ser asimilados a pequeños planetas, o bien a pequeños satélites que se mueven alrededor de la Tierra.

Los bólidos son cuerpos sólidos, que al entrar en la esfera de atracción de la Tierra, se inflaman i estallan, cayendo a la Tierra en forma de piedras. El análisis químico de estas piedras ha probado en ellos la existencia del hierro, níquel, cobalto, magnesio, etc. Esto nos dice que el origen de la Tierra no difiere del de los demás cuerpos celestes.

La figura 64 es la masa meteórica más voluminosa que se ha encontrado. Se la encontró en Groenlandia, Pesa 20 000 kg.

§ 5. Analogías entre exhalaciones i cometas. Las

exhalaciones, como los cometas, describen órbitas uno de cuyos focos es el Sol.

Se ha demostrado que algunos enjambres de estrellas fugaces recorren la misma órbita que algunos cometas, como el de 1862; el descubierto por **Tempel** en 1866, i que el cometa Biela. «Semejantes resultados, dice **Delaunay**, inducen a pensar que el cometa que sigue en el espacio la misma ruta que un enjambre de estrellas fugaces, debe ser considerado formando parte integrante de él. No es otra cosa que una concentración local de la materia del enjambre, concentración bastante intensa para que la cantidad de materia que forma sea visible aún a grandes distancias de la Tierra. Se sigue de ahí que las exhalaciones son de la misma naturaleza que los cometas; consisten en pequeñas masas de materias cometarias,

que se mueven en el espacio sin que podamos verlas a causa de su pequeñez. No son visibles para nosotros sino cuando penetran en la atmósfera de la Tierra. Son lo mismo que los cometas, con la diferencia que la parte menos densa de estos astros se halla en estado de gas».

Schiaparelli dice: «Para que un cuerpo situado en los espacios estelares, a una inmensa distancia del Sistema Solar, pueda ser llevado por la atracción dominante del Sol, en la región que ocupa la órbita de la Tierra, es preciso que ese cuerpo se halle animado, con relación al Sol, de una velocidad relativa estremadamente pequeña. Considera entonces un enjambre de corpúsculos de forma globular, con un movimiento de conjunto que satisfaga a esta condición. Demuestra que ese enjambre, cediendo progresivamente a la acción del Sol, debe deformarse poco a poco, alargándose en la órbita que describe su centro, i estrechándose por el contrario, en todas las direcciones normales a esa órbita. Es fácil ver, en efecto, que describiendo cada uno de los corpúsculos del enjambre una órbita elíptica en extremo oblongada alrededor del Sol, todas esas órbitas van estrechándose unas contra otras, a medida que se acercan al astro cuyo centro es su foco común; de suerte que esas órbitas se confunden casi en la porción de su contorno por la cual penetran al interior del Sistema Solar. Por otra parte, en virtud de las dimensiones más o menos grandes del enjambre tomado en su forma globular primitiva, sus diversas partes, arrastradas por el Sol, del cual están desigualmente distantes, deben emplear tiempos diferentes en recorrer sus órbitas respectivas; deben pues llegar unas después de otras a sus perihelios, que, según lo que se acaba de decir, ocupan todos casi la misma posición

cerca del Sol. De estas dos circunstancias resulta un estrechamiento trasversal del enjambre, i al mismo tiempo un crecimiento a lo largo de la órbita que recorre.

«Una corriente meteórica que encuentra la órbita de la Tierra en un punto de su contorno, i cuyas diversas partes necesitan varios años para pasar por ese punto de encuentro, debe ser atravesado por la Tierra cada año en una misma época; de ahí los flujos periódicos de exhalaciones que se reproducen de año en año, con una intensidad variable, según la mayor o menor aproximación de las capas de materia nebulosa i las diversas porciones de la corriente que la Tierra toca sucesivamente.»

Establecida la analogía entre los cometas i las exhalaciones meteóricas, el gran problema que a la astronomía meteórica le está reservada, es calcular los numerosos caminos meteóricos, i descubrir los **cometas aliados**, si así puede decirse, ya que ambos deben tener un mismo origen.

El gran **Newton**, padre de esta teoría, decía: **cada piedra meteórica, ha formado parte alguna vez de un cometa; i cada lluvia meteórica, es un conjunto de fragmentos quebrados de algún cometa conocido o desconocido.**

§ 6. Sol meteórico. El centro de emisión de las estrellas meteóricas ha sido llamado **Sol meteórico.**

La Tierra jira alrededor del Sol en una órbita muy poco excéntrica, casi circular. El Sol meteórico está situado en el plano de esta órbita, a 90° del Sol verdadero. En el movimiento diurno, el Sol meteórico pasa por el meridiano 6 horas antes que el Sol verdadero. Por eso el máximum de exhalaciones, como

ya se ha dicho, tiene lugar alrededor de las seis de la mañana; el mínimun al oscurecerse.

Con el Sol meteórico se esplican las variaciones diurnas.

Hai también variaciones anuales, que dependen del paso del Sol meteórico por los solsticios i cuando el Sol verdadero está en los equinoxios.

E. LUZ ZODIACAL.

§ 1. Aspecto. Por la mañana, antes de la salida del Sol, o por la tarde, a la hora del crepúsculo, suele verse una luz que se destaca alrededor del punto de salida o puesta del Sol, en forma mui parecida al aspecto brillante de la Vía Láctea. Tiene la forma de un **huso**, situado en el plano del Ecuador solar.

El eje sigue la direcció n de la Eclíptica. Alcanza una altura de unos 60°.

Se la ve en el período de los equinoxios, cuando la atmósfera no está cargada de vapores. En las zonas tropicales se la observa con más frecuencia.

La figura 65 da una idea de este fenómeno.

La luz zodiacal está deprimida en el Ecuador. Este plano tiene poca inclinación con el de la Eclíptica; i el observador, situado casi en el mismo plano de esta nebulosidad, la ve proyectarse en el cielo bajo la forma de un huso mui oblongado.

§ 2. Orijen de la luz zodiacal. ¿Cuál es la causa de la luz zodiacal? La opinión más jeneral, es que se debe a un dé-

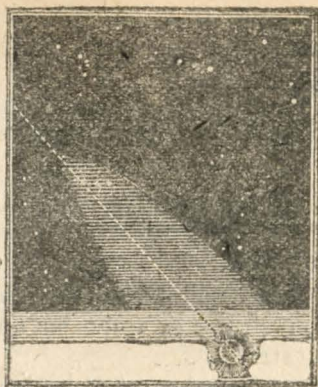


Fig. 65

bil anillo nebuloso, talvez una zona meteórica, que rodea al Sol, i que se hace visible cuando el Sol está bajo el horizonte.

En las rejiones tropicales, la luz zodiacal ha solido verse simultáneamente en el Este i en el Oeste. De ahí por qué esplican su existencia atribuyéndola a un anillo nebuloso que rodea a la Tierra, dentro de la órbita lunar.

El brillo opuesto, o **Gegenschein**, que se ha visto en la parte opuesta al Sol, se atribuye también a la luz solar, reflejada por cuerpos interplanetarios, tan pequeños, que no se perciben distintamente.

La luz zodiacal se proyecta en la zona del zodíaco. De ahí su nombre. En la zona tropical se la ve todos los días; i en otras latitudes, en el periodo de los equinoxios, como ya se ha dicho.

V.

SISTEMA SIDERAL.

§ 1. Aspecto de las estrellas. Ya se ha dicho que las estrellas son soles.

Estos soles están tan intensamente lejanos, que no podemos percibir su disco, como en nuestro Sol, que también es una estrella.

Se nos presentan como puntos luminosos.

¡Cuántos secretos i bellezas deberán encerrar estos numerosos i enormes cuerpos, que en un conjunto armónico, se mueven en los espacios infinitos del Universo!

§ 2. Centelleo de las estrellas. Las estrellas presentan el fenómeno del centelleo. I en esto precisamente se distinguen, a la simple vista, de los planetas, que también se nos presentan como estrellas.

La intensidad del centelleo varía, según sea la pureza del cielo.

Varía también con la altura, con la tranquilidad o agitación de las corrientes aéreas, i con la temperatura.

El ilustre astrónomo francés **Arago**, atribuye el centelleo de las estrellas a las **interferencias** de la luz. El aire, siendo desigualmente denso en sus diversas capas, trasmite mui irregularmente los diferentes colores de que se compone la luz blanca.

Las ondas luminosas recorren caminos desiguales.

Resultan así alternativas en el color rojo, verde, azul, etc. De aquí las variaciones en el brillo i en el color.

§ 3. Número de estrellas. Al hablar del número de estrellas, debe entenderse que nos referimos a nuestro sistema, que está formado por la Vía Láctea, i de ningún modo a los infinitos soles que pueblan el Universo.

A primera vista, parece que fuera imposible contar las estrellas. Sin embargo, los astrónomos lo han hecho. I han fijado más o menos en **6 000** las que normalmente pueden verse. Pero con el telescopio este número cambia.

El número de estrellas visibles es enorme. Como ilustración obsérvese el dibujo de la fig. 66. Es una parte de la constelación de los Jemelos, en donde a la simple vista se ven sólo **seis** estrellas.

Este solo dato hace ver que no es fácil fijar, ni siquiera aproximadamente, el número de estrellas de nuestro firmamento.

§ 4. Clasificación de las estrellas. Los más poderosos anteojos no han permitido ver discos en ellas. No puede entonces establecerse por el cálculo, cuáles son sus magnitudes relativas. Por eso su clasificación se ha hecho tomando en cuenta su **brillo**.

Son de primera magnitud, las que brillan con más intensidad. Las que le siguen son de segunda magnitud; i así en seguida.

A la simple vista se puede ver hasta de la sexta magnitud.

El siguiente cuadro da una idea del número de cada una, según clasificación de los astrónomos:



Fig. 66

De I magnitud, hai		20	estrellas
» II	»	68	»
» III	»	192	»
» IV	»	428	»
» V	»	1 500	»
» VI	»	3 792	»

El astrónomo **Argelander**, opina que de la VII magnitud habrá, unas 13 000; de la VIII, unas 40 000 i de la IX 142 000.

Las estrellas de primera magnitud se designan por la letra griega α ; las de segunda por β ; las de tercera por γ ; etc.

Por medio de la fotografía celeste, se han llegado a fijar estrellas hasta de la 19.^a magnitud.

El brillo de las estrellas, no supone sus mayores o menores magnitudes relativas, ya que su brillo aparente puede derivar de tres causas: de su magnitud real, de la intensidad de la luz en su superficie, o de su distancia a la Tierra. De las dos primeras causales nada se sabe. En cambio, puede decirse algo de la tercera.

✓ § 5. Distancia de las estrellas a la Tierra. La distancia de las estrellas a la Tierra se determina por medio de su **paralaje**.

Hasta hoi, sólo se ha podido determinar la de unas pocas.

Según dichos resultados, se considera que la estrella más cercana a nosotros es α **del Centauro**, cuyo paralaje es de **0",76**. No alcanza a **1"** de arco. Pero suponiendo que ésta fuera de **1"** de arco, su distancia sería **206 265** veces mayor que los **150 millones de km.** que nos separan del Sol. Ejecutando la operación resultan **30 939 750 000 000 km.**

¿Qué es **1 billón**? La unidad con doce ceros. Nada más. Ahora: supongamos que se quisiera contar un billón. Se necesitarían unos 10 000 años, suponiendo que el que cuenta es inmortal, i que por lo mismo, no descansa en su tarea ni siquiera un momento. ¿I cuánto se demoraría en contar 30 billones?

La luz recorre **300 000 km.** por segundo, i demora en llegar desde dicha estrella, **$4\frac{1}{2}$ años**, más o menos. Esto nos da una idea de su distancia.

La estrella **61 del Cisne**, cuya paralaje es de $0'',39$, está **550 000** veces más lejos que nuestro Sol. La luz emplea **8 años** en llegar desde allá a la Tierra.

La luz enviada por las estrellas de **sesta** magnitud demora **30 años**. Las de la **13.^a** magnitud demora unos **2 000 años**. Esta enorme distancia esplica que no podamos ver en las estrellas los diámetros aparentes que les corresponde.

§ 6. Año de luz. Los astrónomos no usan los **km.** como unidad para medir la distancia de las estrellas a la Tierra. Emplean el espacio que en **un año recorre una onda luminosa**. Esto es un **año de luz**.

Cuando se dice, por ejemplo, que la distancia de α del Centauro es de $4\frac{1}{2}$ años de luz, equivale a decir, jeométricamente, que su paralaje es de $0'',76$ o que su distancia a la Tierra es de 30 billones de km., próximamente.

§ 7. Dimensiones de las estrellas. Nuestro Sol es una estrella. Es **1 280 000** veces mayor que la Tierra.

Las estrellas son también soles, mayores que el nuestro.

Proción, de la constelación del Perro menor, es **ocho** veces mayor.

Sirio, de la constelación del Perro mayor, es, según se desprende de su brillo, unas **1 000** veces más grande.

Betelgeuse, de la constelación de Orión, es **un millón** de veces mayor.

Canopro, de la constelación del Navío, es **tres** millones de veces mayor que nuestro Sol. Esta es la mayor estrella del cielo, hasta hoy considerada.

¿Habrá otras aún de mayores dimensiones?

Seguramente que sí, ya que el Universo es infinito, como infinitos deberán ser los soles, i mui variadas e inmensas sus dimensiones.

§ 8. Movimientos de las estrellas. En el Universo nada permanece

inmóvil. Todo está en movimiento, aunque a la simple vista no nos demos cuenta del movimiento de muchas cosas.

Se mueve la Tierra. Se mueve el Sol. I se mueven también las estrellas. Su movimiento es mayor que el que tiene cualesquiera de los planetas. La estrella **Arturo**, de la constelación del Boyero, tiene una velocidad dos veces mayor que la de Mercurio i más de tres veces que la de la Tierra. Esta estrella necesitaría **muchos siglos** para recorrer en su movimiento en el cielo, un espacio igual al diámetro aparente de la Luna. Por eso es que en la vida de un hombre, no se hace sensible este cambio. Se necesita de muchas generaciones para que el cambio en las posiciones relativas de las estrellas pueda hacerse sensible.

Actualmente se conocen más de **20** estrellas, cuyo movimiento propio es mayor de **1"** por año. Entre éstas están **Sirio**, **Proción**, **Arturo** i *a* del Centauro. La estrella **61 del Cisne** tiene un movimiento anual de **5",3** por año.

Hai más de 300 estrellas cuyo movimiento anual es inferior a 0,5 por año.

La estrella **1830 Grombridge**, es la que tiene el movimiento más rápido entre las que se han observado. Alcanza a **8"** por año.

§ 9. Constelaciones. Llámase constelación, a una serie de estrellas que forman cierta figura. Se las ha agrupado así para distinguirlas mejor. La agrupación de estrellas en constelaciones data de épocas tan remotas, que no es posible precisarlas.

Las constelaciones se dividen en **boreales i australes.**

También hai que distinguir las constelaciones zodiacales.

Se indican a continuación algunas constelaciones boreales i australes.

- | | | |
|-----------|---|-------------------|
| Boreales: | { | 1. Andrómeda. |
| | | 2. Casiopea. |
| | | 3. Perseo. |
| | | 4. Cochero. |
| | | 5. Osa menor. |
| | | 6. Osa mayor. |
| | | 7. Los Lebreles. |
| | | 8. Boyero. |
| | | 9. Corona boreal. |
| | | 10. Hércules. |
| | | 11. La Lira. |
| | | 12. El Aguila. |
| | | 13. El Cisne. |
| | | 14. Pegaso. |

- | | | |
|------------|---|---------------------|
| Australes: | { | 1. Orión. |
| | | 2. El Navío. |
| | | 3. Perro mayor. |
| | | 4. Perro menor. |
| | | 5. El Cuervo. |
| | | 6. La Cruz del Sur. |
| | | 7. El Centauro. |
| | | 8. El Triángulo. |

- Australes: {
- 9. Abeja austral.
 - 10. Pez austral.
 - 11. La Ballena.
 - 12. Fénix.
 - 13. Pavo real.
 - 14. Erídano.

Las constelaciones zodiacales tienen los mismos nombres que los signos del zodiaco. ¿Cuáles son?

Las constelaciones zodiacales no coinciden con los signos del zodiaco. La causa de esto es la Precesión de los equinoxios. De este fenómeno se hablará más adelante.

§ 10. Descripción de algunas Constelaciones.

I. Osa mayor i menor. Son boreales, invisibles para el horizonte de Santiago.

La Osa mayor contiene 133 estrellas. Su forma jeneral se caracteriza por 6 estrellas de segunda magnitud i una de cuarta, figs. 67 i 68.

Respecto de esta constelación, es curioso que los pastores caldeos en el Asia le dieran el mismo nombre que algunas tribus indíjenas de Norte América.

Se la representa por un oso.

La Osa menor se representa por un oso más pequeño. Como su compañera, se caracteriza por 7 es-

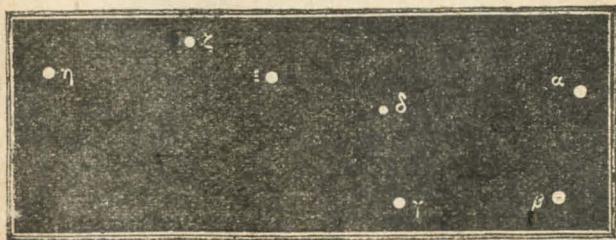


Fig. 67

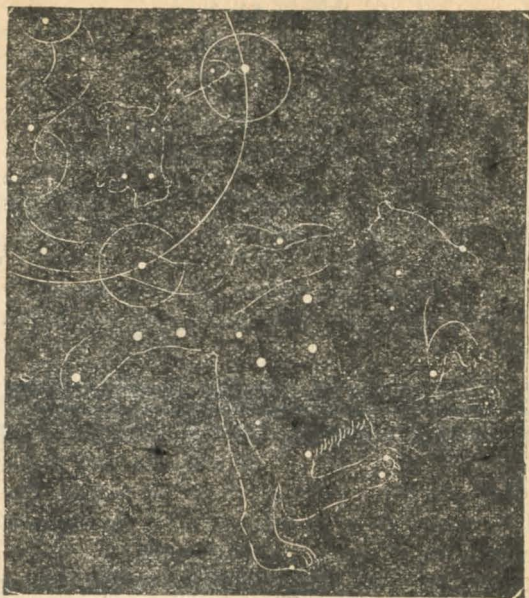


Fig. 68

trellas. Tres de éstas se ven con alguna dificultad. En esta constelación está la **Estrella Polar**, fig. 68.

La Estrella Polar dista $1\frac{1}{2}$ grado del Polo. Sirve de guía a los navegantes.

La distancia polar de esta estrella disminuirá hasta medio grado, dentro de unos 2 120 años; i volverá después a crecer, hasta dejar de ser polar. Desempeñará entonces este papel la brillante estrella Vega de la Lira. Sucederá esto dentro de unos 12 000 años. Esto se debe al cambio gradual de la posición del eje de la Tierra, a causa de la precesión de los equinoxios.

La estrella α de la Osa mayor se llama Dubhe. La estrella β es Merak. Ambas están en línea recta con la Polar. Le siguen: Phesda, Megrez (γ), Aliath, Mizar i Benetasch, que es la terminal.

II. El Dragón. Se encuentra entre las dos Osas.

En la fig. 68, se ve parte de la serpiente enroscada con que se la representa. La cabeza del Dragón (Draco) está cerca de la constelación de Hércules, fig. 69. Cuatro pequeñas estrellas forman un cuadrilátero en la cabeza. Varios grupos de estrellas, dispuestas en forma de triángulos pequeños, forman la cola del Dragón.

Entre las dos Osas está la estrella, Thuban, que en siglos pasados se consideró como polar, fig. 69.

III. Cefeo. Contiene 35 estrellas, visibles a la simple vista. Se la representa como un rei,

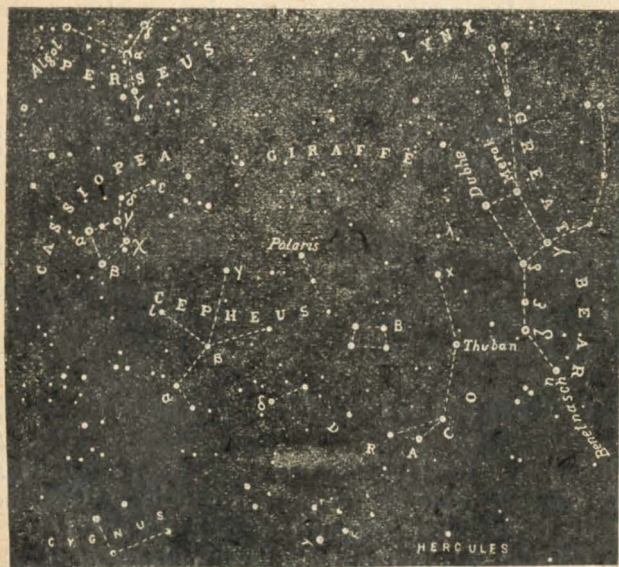


Fig. 69

con una corona de estrellas en la cabeza. En su mano tiene un cetro, que estiende hacia su esposa Casiopea, fig. 69.

Las estrellas más brillantes de esta constelación son Alderamin (α) i Alphirk (β).

IV. Casiopea, fig. 69. Contiene 67 estrellas, visibles a la simple vista.

Una línea recta trazada desde Megrez, δ de la Osa mayor, pasando por la estrella polar, termina en la estrella Caph, β de Casiopea. Estas tres estrellas están en la dirección del coluro de los equinoxios.

Coluros son dos círculos máximos, que pasan por los equinoxios i por los solsticios. Son perpendiculares. Se les designa con el nombre de Coluro de los equinoxios i Coluro de los solsticios.

Casiopea está representada como una reina sentada en su trono. A su derecha está el rei Cefeo; a su izquierda está su hijastro Perseo, i sobre ella se halla su hija Andrómeda, figs. 69 i 70.

V. Perseo, figs. 69 i 70. Comprende esta constelación 81 estrellas, visibles a la simple vista. Una de ellas es Mirfak. Muy importante es Algol, por su cambio de brillo.

VI. Andrómeda i el Cuadrado del Pegaso, fig. 70. La estrella Almach (γ) de esta constelación, forma con Mirfak i Algol de Perseo, un ángulo recto, abierto hacia Casiopea. En la cintura de Andrómeda está Mirack (β).

La estrella Alpheratz (α) fija la cabeza de Andrómeda, i que con Marcab (α), Scheat (β) i Algenib (γ), constituyen el gran Cuadrado del Pegaso.

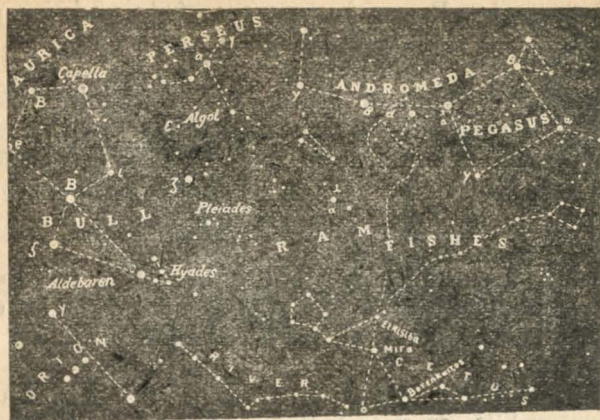


Fig. 70

Algenib i Alpheratz están mui cerca del coluro de los equinoxios, que pasa por Caph.

El nombre de las constelaciones ligeramente descritas, deriva del siguiente pasaje mitológico:

Perseo era hijo de Júpiter i Danae. Su abuelo Acricius, fué informado por el oráculo de que, con el tiempo, su nieto Perseo le mataría. Por esto Acricius lo encerró en un cofre, conjuntamente con su madre, i lo lanzó al mar. Ambos fueron salvados por Dictia, reina de la isla de Seriphus. Polydectes, hermano de Dictia, se prendó de la belleza de Danae i quiso eliminar a Perseo. Con este fin, se le ordenó fuera en busca de la cabeza de Medusa, que debía presentar como regalo nupcial. Medusa había sido una hermosa doncella, que se atrevió a comparar sus rizos con los de Minerva. Esto fué la causa de que la diosa convirtiera los rizos de Medusa en serpientes, e hizo que su mirada convirtiera en piedras a todos los que en su rostro fijaban la vista. Quedó así convertida en una **Gorgona**.

Al acometer Perseo su empresa, fué ayudado: por Mercurio, con sus sandalias aladas; por Minerva, con su escudo, que brillaba como un espejo; i por las Ninfas, con el yelmo de Plutón, que lo hacía invisible. Así voló Perseo sobre el océano. Encontró dormidas a las Gorgonas, i fijando la vista en la figura de Medusa, reflejada en el escudo de Minerva, le cortó la cabeza i huyó. Con la sangre que brotó, surgió el alado caballo del Pegaso.

Lo anterior explica por qué a Perseo se le representa como blandiendo una espada con su mano derecha, mientras que a su izquierda está la cabeza de Medusa.

Andrómeda era hija de Casiopea. Esta hacía alarde de que su hija era más bella que las Ninfas del mar. Quejáronse éstas a Neptuno. Envió éste entonces a Cetus, mónstruo marino, para que devastara la Etiopía. Cefeo, para aplacar la cólera de los dioses, hizo amarrar a su hija Andrómeda en una roca, para que fuera devorada por Cetus. Por eso se la representa como una joven encadenada.

Perseo, en su viaje de regreso con el trofeo de Medusa, mató a Cetus i devolvió a sus padres a la encadenada i hermosa niña.

Todos los actores de esta escena fueron honrados con un asiento entre las constelaciones.

Las ninfas fueron vengadas, obteniendo que la cabeza de Casiopea fuera colocada en el cielo, de modo que la mitad del tiempo estuviera vuelta hacia abajo, como una demostración acerca de lo que vale la humildad.

VII. Aries. Obsérvese la figura 70. La principal estrella de esta constelación es *a* de Aries, más comúnmente llamada Arietis. Se la puede

fijar por una recta trazada desde Almach (γ) en la constelación de Andrómeda, a una hermosa figura de tres estrellas, llamada Los triángulos, fig. 70. (Ram =carnero).

Esta constelación no es hoy la primera en el zodiaco: es la segunda; la primera es Piscis.

Los egipcios consagraron esta constelación a Júpiter Amón, que presidía el equinoccio de primavera.

Según algunos autores, el carnero celeste es el del famoso bellocino de oro, que dió origen al viaje de los Argonautas, encabezados por Jasón.

VIII. El Toro. Representa esta constelación la cabeza de un toro, en actitud de hundir los cuernos sobre Orión. Véanse figs. 70 i 71.

En esta constelación están las **Hiadas**. Constituyen éstas un precioso grupo de estrellas que forman la letra mayúscula A.

La más brillante de las estrellas de esta constelación, es Aldebarán, o el Ojo del Toro. Es de color rojo.

En uno de los cuernos del Toro está la estrella Nath (β).

Representa el Toro a Júpiter, cuya forma tomó, para robarse a Europa.

Las **Pléyades**, o las siete hermanas, fig. 70, están cerca de las Hiadas. Seis de ellas son visibles a la simple vista. La leyenda dice que antes eran siete; pero que Electra dejó su sitio para no ver la destrucción de Troya, que había sido fundada por su hijo Dardanus. Otra leyenda dice que la estrella que allí dejó un vacío era Merope, que casó con un mortal.

Las Pléyades, según la mitología, eran hijas de Atlas, i ninfas de la corte de Diana. Eran muy virtuosas. Aflijidas por la persecución del cazador Orión, buscaron la protección de Júpiter. Este las llevó al cielo.

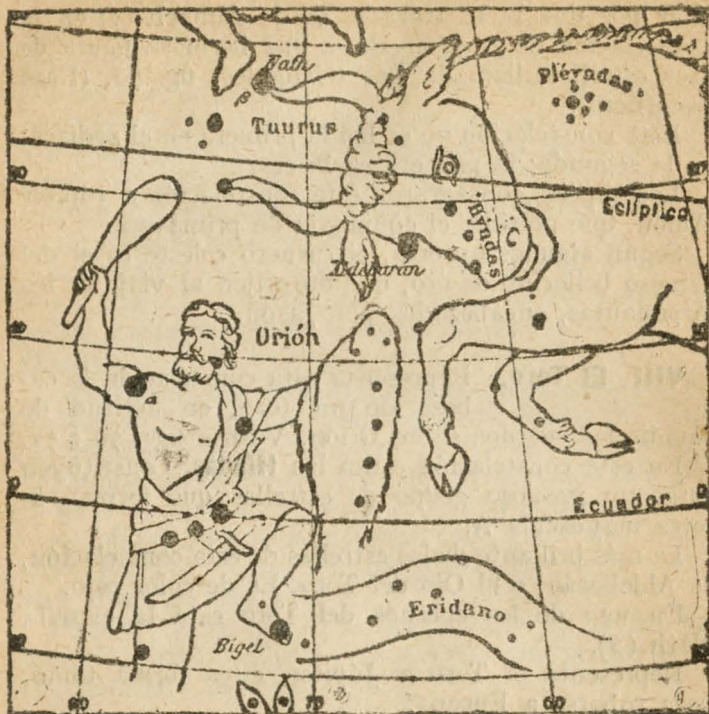


Fig. 71

IX. El cochero. (Auriga), fig. 70. Las principales estrellas de esta constelación forman un pentágono irregular.

La principal estrella es Capella (Cabra). Es de primera magnitud, i tiene un centelleo cambiante mui vivo. Su luz demora 32 años en llegar a la Tierra.

Cerca de Capella, hai un grupo de tres pequeñas estrellas: son los cabritos.

El cochero tiene una estrella común con la constelación del Toro: es Mentalinan.

El origen del nombre de esta constelación es desconocido.

En los globos se la indica por un hombre que tiene un pie en el cuerno del Toro; en la mano izquierda tiene una cabra, i con la derecha sostiene las riendas.

X. Pisces (Fishes), fig. 70. Se compone de pequeñas estrellas, visibles en una noche sin luna.

Cetus (Ballena), fig. 70 tiene las mismas características.

XI. Gemini. (Twins), fig. 72. El conjunto jeneral de las estrellas que forman esta constelación, representan un paralelogramo.

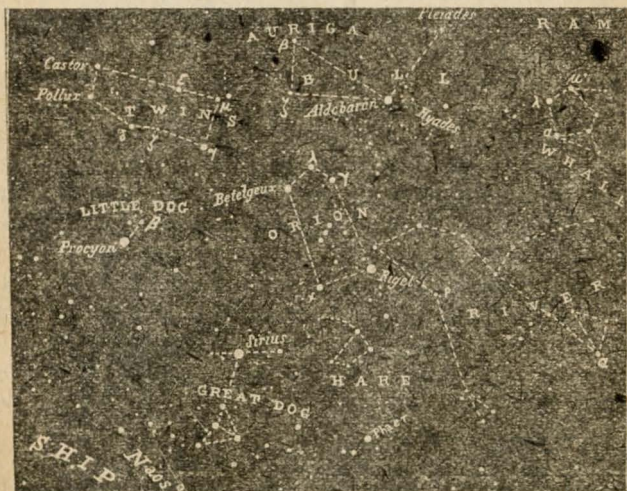


Fig. 72

Las estrellas principales son Cástor i Pólux. La última es de primera magnitud. Cástor es de segunda. Mirada con un antejo, se descompone en dos estrellas. La distancia angular de sus dos componentes es de 5".

Esta constelación, con la de Orión i del Toro, forman uno de los más hermosos grupos de la Bóveda estrellada.

Según la mitología, Cástor i Pólux eran hijos de Leda, mujer de Tíndaro, rei de Esparta.

A Pólux se le atribuía un orijen divino. Por eso era inmortal.

Ambos fueron aliados de Jasón, en la expedición de los argonautas.

Cuando Cástor estuvo próximo a la muerte, pidió Pólux a Júpiter que le hiciera morir junto con su hermano, o que concediese a Cástor la inmortalidad. Júpiter, al ver tanto amor fraternal, i no pudiendo cambiar lo establecido por el destino, dió a elegir a Pólux entre pasar un día en la Tierra i otro en el cielo, o bien trasladarse para siempre con su hermano al Olimpo. Pólux optó por lo último. Fué así como los dos hermanos fueron colocados entre los astros.

XII. Orión. Es una constelación ecuatorial i una de las más hermosas, figs. 71 i 72. Consta principalmente de cuatro estrellas que forman un paralelogramo. Una es Betelgeuse, de color anaranjado, más bien rojiza. Esta estrella se aleja de la Tierra. Le sigue Bellatrix (γ), de segunda magnitud. Después está Rigel, de primera magnitud. Es doble. Por su brillo, parece estar cerca de la Tierra; pero en realidad está mui léjos, en las profundidades de los espacios siderales. La cuarta estrella es Saiph, de tercera magnitud.

Entre Betelgeuse i Bellatrix, está la estrella λ (lambda), formando con ellas casi un triángulo isósceles, cuyo vértice ocupa.

Hacia el sur, i cerca de Rigel, hai un grupo de estrellas que forman la constelación de la Liebre.

En el centro de Orión hai tres estrellas de segunda magnitud. Son las tres Marías. Forman el tahalí de Orión. La línea recta que forman tiene una amplitud de 3°.

La estrella δ del tahalí, está sobre la línea del Ecuador.

Estas tres estrellas tienen movimientos propios, en distintas direcciones. Por consiguiente, en el transcurso de los siglos, la línea recta que forman seguramente desaparecerá.

En esta constelación abundan las estrellas múltiples. La estrella θ se descompone en seis. Aquí está la gran Nebulosa de Orión. Esta nebulosa no es homogénea. Presenta focos de condensación hacia el centro.

Se aleja de la Tierra.

Para los antiguos hebreos, Orión representaba a Nemrod, el primer cazador.

Orión deseó matrimoniarse con Merope.

El padre de ésta se opuso; i a fin de quitarle toda expectativa, le hizo arrancar los ojos. Ciego, i guiándose por los golpes de martillo de un cíclope, llegó hasta la fragua de Vulcano. Compadecido éste de su desgracia, lo envió a la Bóveda celeste. Pronto los rayos solares lo curaron. I como se alabara de ser un diestro cazador, se le castigó mediante un pinchazo con el venenoso aguijón del Escorpio. Esto le ocasionó la muerte. La diosa Diana lo colocó después entre las estrellas. Allí le siguieron i le forman guardia sus fieles perros Sirio i Proción. Las Pléyades, a quienes Orión persiguió, vuelan ante él.

Simbólicamente, se le representa por un gigante con una maza en la mano derecha, una espada al cinto i la piel de un león en la izquierda, en actitud de matar

al Toro que sobre él se precipita, fig. 71. (Véase la faja zodiacal ilustrada).

Betelgeuse está en el hombro derecho de Orión. Bellatrix en el izquierdo. Rigel está en el pie izquierdo i Saiph en la rodilla derecha.

XIII. Perro mayor i Perro menor. La constelación del Perro mayor contiene la estrella más brillante del cielo, fig. 72. Se llama Sirio.

Esta estrella tiene un movimiento propio curvilíneo, debido a la acción de la gran masa de otro astro, invisible a la simple vista. Lo descubrió Alvan Graham Clark, en 1862. Este cuerpo celeste dista de Sirio por una magnitud más o menos igual a la que hai entre la Tierra i Neptuno.

Jira Sirio, alrededor de su compañero, en 50 años.

La luz de Sirio necesita unos 10 años en llegar hasta nosotros i su brillo es, por lo menos, unas 200 veces mayor que el de nuestro Sol. Su diámetro es unas 14 veces mayor. Esto indicaría un volumen igual a cerca de 3 000 veces el de nuestro Sol.

Pruebas recientes tienden a demostrar que la velocidad con que Sirio se aleja de nosotros va disminuyendo. De manera que puede esperarse que este movimiento se transforme en uno de aproximación. Es esto un indicio que permite suponer que Sirio desarrolla una inmensa órbita que lo aleja i acerca, alternativamente de nosotros.

Sirio, según la Mitología, es uno de los perros del cazador celeste Orión.

Esta estrella, en el hemisferio norte, hace su aparición en el crepúsculo de la mañana, cuando la intensidad del calor solar es allá mayor. De aquí el nombre de período de la canícula, que, entre nosotros tiene

lugar en los primeros días de Enero. Pero entonces, para Santiago de Chile, al rayar la aurora, Sirio está en su ocaso.

En la constelación del Perro menor, fig. 72, está Proción, de primera magnitud.

XIV. Unicornio o Monocerus. Está entre los dos perros. Se compone de numerosas estrellas, siendo la de mayor brillo apenas de 3.^a magnitud.

Sirio, Proción, Régulo de la constelación del León, α de la Hidra, sirven para fijar su posición.

Las estrellas que la forman se designan por números.

Muchas de sus estrellas son variables. La 30 fué registrada por Piazzzi como de 5½ magnitud, por Flamsted como de 6.^a i por los astrónomos posteriores como de 4.^a magnitud. La 15 varía rápidamente entre la 4.^a i 6.^a magnitud. Es amarilla, i a su alrededor jira, con lento movimiento, una estrella azul de 10.^a magnitud.

La constelación del Unicornio es mui rica en estrellas múltiples i nebulosas resolubles.

XV. Leo. Es zodiacal. Se la representa como un león furioso, fig. 73.

La estrella principal es Régulo, de primera magnitud. Es fácil encontrarla, pues está en el mango de una hoz que forma una serie de estrellas. Régulo está casi exactamente en la eclíptica.

Otras estrellas importantes de esta constelación son:

Denébola (β), en la cola del León; Zosma (δ) en la espalda i θ en el muslo.

Mitolójicamente, esta constelación es el León que Hércules mató en el bosque de Nemea. Para los cris-

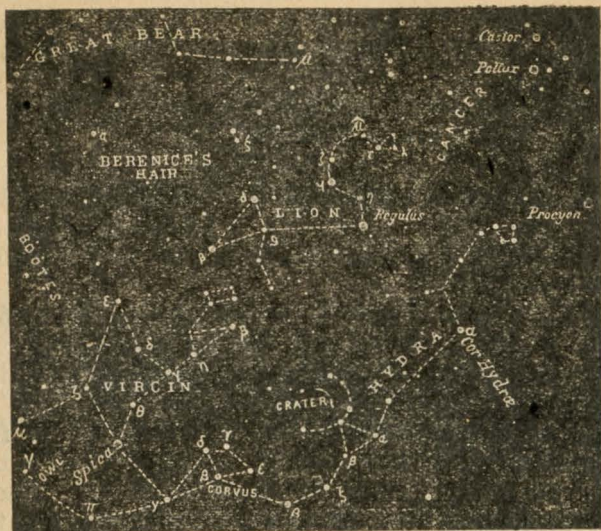


Fig. 73

tianos, simboliza uno de los leones a los cuales fué arrojado el profeta Daniel.

XVI. Cáncer. Comprende las estrellas situadas entre los Gemelos, Proción, Cabeza de la Hidra i el León, fig. 73. Se la representa por un cangrejo. Contiene 83 estrellas. La principal es Acubens. A ambos lados de ésta hai dos estrellas de 4.^a magnitud: son los Aselli o asnos. Representan éstos las cabalgaduras del dios Baco, i con cuyos rebuznos se espantaron los Titanes.

En el medio de esta constelación, hai una mancha luminosa: es el Enjambre de abejas. Con cualquier anteojo se la resuelve en numerosas estrellas.

La leyenda dice que esta constelación fué colocada en el cielo por Júpiter, a causa de haber el cangrejo detenido a una ninfa con una mordedura.

XVII. Virgo. Se la representa por una hermosa doncella con alas plegadas.

Mitológicamente, Virgo era la diosa Astrea, hija de Júpiter.

Según la leyenda poética, la más antigua edad del hombre fué la edad del oro: era el tiempo de la inocencia i de la verdad. Los dioses vivían entre los hombres i perpetua primavera reinaba en la Tierra. Vino después la edad de la plata, menos tranquila i serena. Con todo, aun los dioses permanecían en el planeta. Siguió la edad del bronce i del hierro: reinaron en ésta época la maldad i toda clase de vicios. Los dioses abandonaron entonces la residencia humana. Solo quedó Astrea, que al fin también descepcionada, abandonó la Tierra. Júpiter la colocó entonces entre las constelaciones.

La estrella principal es la Espiga, de primera magnitud, fig. 73.

La Espiga, Arturo, Denébola i Cor Caroli, forman un cuadrilátero, llamado el diamante de la Virjen.

La Espiga se aleja de la Tierra. Su distancia de nosotros es inconmensurable.

La estrella ϵ , de 3.^a magnitud, se le llamó, desde mui antiguo, Vendimiatrix, a causa de que sus ortos matutinos tenían lugar en la época de la recolección de los frutos.

XVIII. La Hidra. Es mui estensa. Abarca unos 100°, La estrella principal es el Corazón de la Hidra, de segunda magnitud.

La cabeza de la Hidra está cerca de Proción, fig. 73.

La forman cuatro estrellas de cuarta magnitud. Directamente al sur de la estrella θ del León, se halla un semicírculo, en la constelación de la Hidra: es el Cráter o Taza. A 15° de la Taza está el Cuervo.

Según la Mitología, la Hidra era una enorme serpiente que infestaba el lago de Lerna. La mató Hércules.

XIX. Los Lebreles i Cabellera de Berenice. La constelación de los Lebreles (Canes Venatice) es boreal. Se caracteriza por la brillante estrella Cor Caroli, fig. 74.

Entre Denébola i Cor Caroli, está la Cabellera de Berenice, que a la simple vista parece una nebulosa. La principal estrella de ésta es de cuarta magnitud.

Según la Mitología, Berenice era esposa de Ptolomeo Everjetes, rei de Egipto.

En cierta ocasión Ptolomeo hizo una expedición peligrosa a Siria. I para que su esposo tuviera un feliz éxito, Berenice ofrendó su hermosa cabellera a la diosa Venus. Pero la cabellera fué robada del altar, diciéndose que los dioses la habían transportado a los cielos, para formar una constelación.

XX. Bootes o el Boyero. Es boreal. La estrella principal es Arcturo, fig. 74, de primera magnitud. Es rojiza.

Su luz demora en llegar a nosotros unos 160 años.

Se aproxima a la Tierra. Su movimiento anual es mui grande: pasa de $1''$ en ascensión recta, i de $2''$ en declinación. Desde los tiempos de Hiparco, según Humboldt, ha recorrido una distancia igual a $2\frac{1}{2}$ veces el diámetro aparente de la Luna.

Al Boyero se le representa como un cazador que

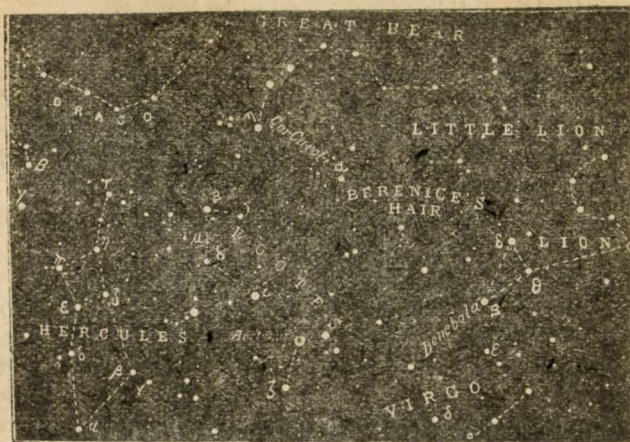


Fig. 74

tiene un bastón en su mano derecha. Con la mano izquierda sujeta a dos lebreles.

Arcturo está en la rodilla izquierda del Boyero. Esta estrella forma un triángulo equilátero con Denébola i la Espiga.

La leyenda mitológica dice que el Boyero era Icaro, a quien Baco enseñó la fabricación del vino. Fué asesinado por unos pastores ébrios. El cadáver lo descubrió su hija, con ayuda de su perro. Desesperada ésta se mató. Entonces fué colocada en el cielo con su padre i sus perros.

XXI. Hércules. Se le representa por un guerrero, que viste la piel del León de Nemea. En su mano derecha tiene un bastón i a su izquierda está el Can Cerbero.

Hércules es el símbolo de la fuerza.

En la Mitología griega es uno de los héroes.

Su esposa Deyamira, engañada por el Centauro Neso (caballo con cuerpo de hombre), hizo que Hércules vistiera una túnica que había sido empapada con la sangre del monstruo. Hércules sintió abrasarse su cuerpo i murió. Desde entonces fué considerado en el número de los dioses.

La estrella principal de esta constelación es Ras Algathi (*a*), fig. 74.

XXII. Serpentario. Se representa esta constelación por un hombre que tiene en ambas manos una serpiente que se retuerce. Ella perpetúa la memoria de Esculapio, padre de la medicina. Para éste, las serpientes eran sagradas, pues tenía la supersticiosa idea de que ellas recobraban la juventud al mudar la piel.

La estrella principal es Ras Alhague (*a*), distante unos 5° de Ras Alguethi, de la constelación de Hércules, fig. 75.

Cerca de la estrella β del Serpentario, hai un grupo de pequeñas estrellas, llamado Taurus Poniatowski.

Un cuadrado irregular forma la cabeza de la serpiente, en Serpentarius.

Cerca está la Corona Boreal. Es ésta una serie de estrellas dispuestas en forma circular. La estrella principal es la Perla.

XXIII. Escorpio. Mitológicamente, esta constelación es el Escorpio que salió de la Tierra para aguijonear a Orión.

La estrella principal es Antares, o el Corazón del Escorpio, fig. 75.

Esta estrella es roja. Rivaliza en color con el planeta Marte.

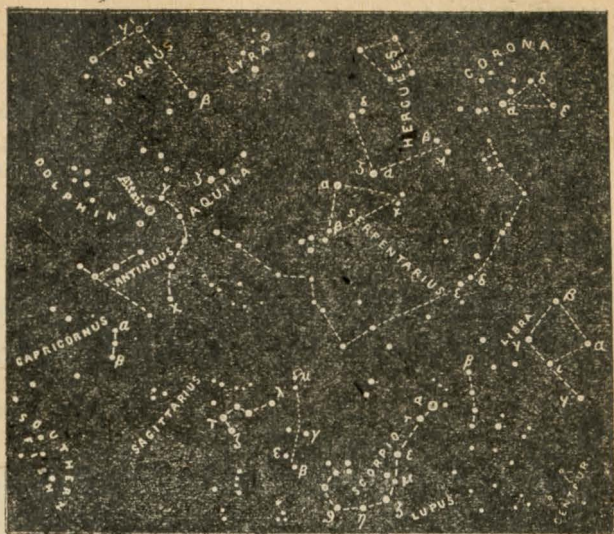


Fig. 75

La cabeza del Escorpio está formada por varias estrellas, que forman una línea ligeramente curva.

La cola del Escorpio la componen una serie de estrellas, que dan a esta constelación la verdadera forma de un alacrán.

La amplitud de esta hermosa constelación es de unos 25° .

XXIV. Libra. Representa la balanza de Astrea, la diosa de la Justicia. Se la puede reconocer por el cuadrilátero que forman sus cuatro principales estrellas, fig. 75. No está mui lejos de la cabeza del Escorpio.

XXV. Sajitario. Se la indica por un Centauro, en actitud de disparar una flecha al Escorpio. Véase mapa zodiacal i fig. 75.

Esta constelación rememora a Chirón, uno de los centauros más famosos i que, según la Mitología, enseñó Física a Esculapio, Música a Apolo i Astronomía a Hércules.

XXVI. Capricornio. No contiene estrellas dignas de especial mención. Obsérvese el dibujo de la fig. 75.

XXVII. Constelaciones varias. 1.) Pez austral, fig. 75.
Contiene una estrella de primera magnitud: Formalhaut. Véase mapa celeste.

2.) Antinous i el Aguila. Estas dos constelaciones puede decirse que forman una sola, fig. 75. En el Aguila está Altair, de primera magnitud, i que forma el centro de una corrida de tres estrellas. Un grupo parecido forma la cola del Aguila.

Altair tiene un movimiento propio mui pronunciado. Es boreal.

Según la fábula, el Aguila llevaba el néctar a Júpiter, cuando éste estaba oculto en un antro de Creta. Por esto fué consagrada a Júpiter i colocada en el cielo. Algunos autores pretenden que esta constelación simboliza al buitre que devoraba a Prometeo.

Antinous contiene una estrella variable, cuyo período es de 7 días 4 horas 14 minutos.

3.) El Delfín. Contiene un hermoso grupo de cinco estrellas, en formá de un diamante, fig. 75. Este grupo suele designarse con el nombre de Ataúd de Job.

4.) El Cisne. Las principales estrellas de esta constelación forman una grande i hermosa Cruz, fig. 75 i 76. Una parte de esta constelación está en la Vía Láctea.

Deneb (α), γ i β , forman el brazo mayor de la cruz. Gienah (ϵ), χ i δ forman el brazo menor. Es boreal.

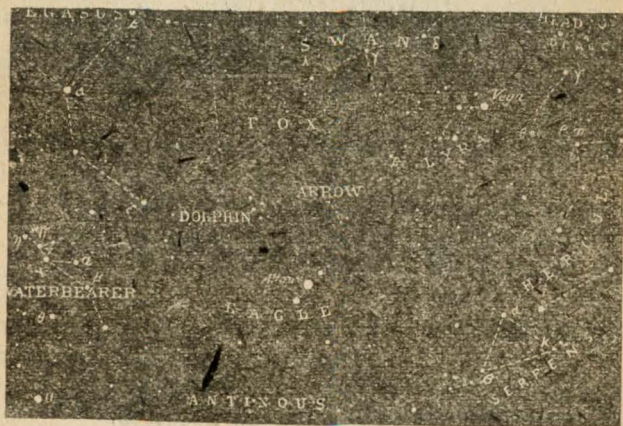


Fig. 76

La estrella 61 del Cisne es notable, por ser entre todas las del hemisferio boreal, la más próxima a la Tierra. De las del hemisferio austral, es α del Centauro.

La primera estrella cuyo paralaje se midió, es la 61 del Cisne: es de 0,"511.

La fábula dice que Júpiter se transformó en Cisne, para ganarse la voluntad de Leda, divinidad de la noche. El Cisne es el símbolo de la blancura del alba.

5.) La Lira. La Lira es boreal. Contiene una hermosa estrella de color blanco, de primera magnitud. Es α o Vega de la Lira, fig. 76.

Cerca de Vega hai un paralelógramo de cuatro estrellas más pequeñas. Este paralelógramo permite reconocer la constelación.

Entre las estrellas β i γ de esta constelación, se halla la hermosa núbula circular de la Lira, descubierta por Darquier en 1779.

Mitológicamente, la Lira celeste es el instrumento en que Orfeo tocó una música tan sublime, que la naturaleza toda se conmovió.

6.) La Cruz del Sur. Para el horizonte de Santiago, es ésta una constelación circumpolar. Las estrellas principales son α i β , fig. 77.

El brazo mayor de la Cruz está en dirección al Polo Sur, i a no mucha distancia de él.

7.) El Centauro. Es austral. Sus dos principales estrellas son α i β . La última está más próxima a la Cruz del Sur, fig. 11 i 77. La primera es la estrella más cerca de nosotros.

8.) El Navío. Es mui estensa. Está entre el Perro mayor i la Cruz del Sur, fig. 77. Contiene una estrella de primera magnitud: Canopo (α). Representa esta estrella, según Plutarco, a Canope, piloto de Menelao, que dirigía la expedición argonáutica en busca del vellocino de oro.

9.) El Cuervo. Las cuatro estrellas principales de esta constelación forman un trapecio, fig. 73. Está sobre la cola de la Hidra i al sur

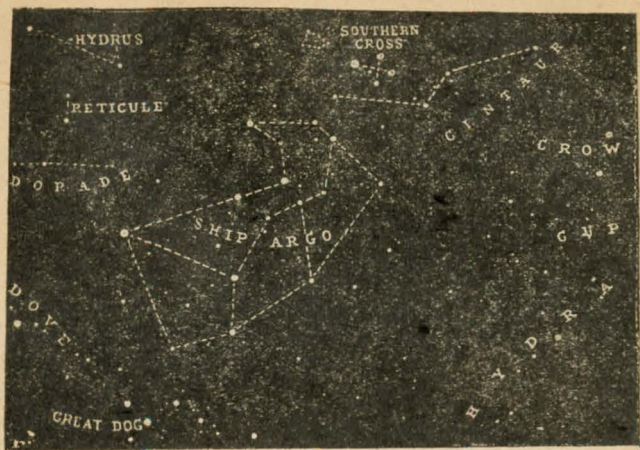


Fig. 77

de la constelación de la Virgen, en la dirección del brazo mayor de la Cruz.

Según la tradición mitológica, se colocó al Cuervo entre las constelaciones, por haber revelado a Apolo secretos de la ninfa Coronis.

10.) Triángulo austral. Forma un triángulo isósceles, fig. 78, próximo a las estrellas α i β del Centauro.

11.) El Lobo. Está próxima a la constelación del Centauro. Se compone de una serie de estrellas de segunda i tercera magnitud. Fué creada por Ptolomeo, fig. 78.

12.) Eridano. Esta constelación arranca desde Rigel en la constelación de Orión. Termina con la estrella Achernard, de primera magnitud.

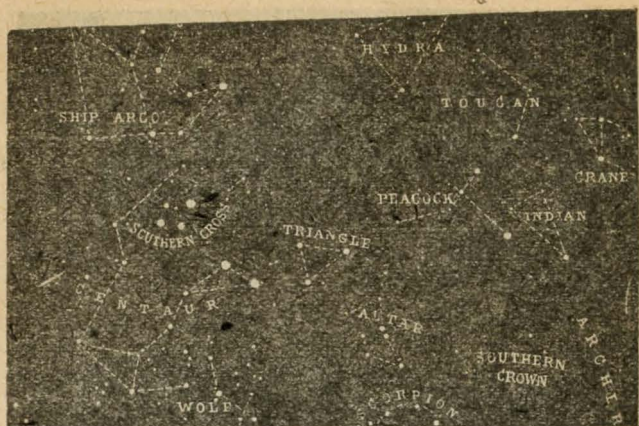


Fig. 78

Esta estrella está situada en el mismo paralelo que la Cruz del Sur.

Por la precesión de los equinoxios Achernard estará algún día cerca del Polo Sur, como lo estará Vega de la Lira, en el hemisferio norte. Achernard, Canopo i Formalhaut están casi en línea recta.

§ 11. Estrellas dobles i múltiples. Muchas veces las estrellas que nos parecen simples, miradas con anteojo se descomponen en dos. Son estrellas dobles. Se conocen de éstas unas 10 000.

En la agrupación de estrellas hai que distinguir dos casos: 1) Las dos estrellas están más o menos a una misma distancia de nosotros, i que por ser ésta mui grande, nos parecen juntas. La estrella doble toma el nombre de **pareja óptica**; 2) Las estrellas están mui distantes entre sí, pero que se proyectan en la esfera

celeste en puntos mui cercanos. La estrella doble toma el nombre de **pareja física**. La estrella 61 del Cisne, que es doble, es una pareja física.

Una pareja óptica forma un sistema **binario**. Entonces las estrellas jiran en órbitas elípticas alrededor de un centro de gravedad.

A menudo las componentes de una estrella doble tienen distintos colores. Por ejemplo, en Antares, que es doble, una es de color anaranjado i la otra verde.

Hai también estrellas múltiples. La estrella **teta** de Orión tiene seis componentes.

La estrella **gamma** de Andrómeda es triple. Está formada de un sol anaranjado, i dos satélites, verde el uno i azul el otro.

§ **12. Estrellas de colores.** Se ha dicho ya que algunas estrellas son rojas. Pero las hai también de otros colores.

Sirio, de la constelación del Perro mayor, es blanca.

Vega, tiene un tinte azul.

Cástor, de la constelación de los Gemelos, tiene un aspecto verdoso.

Pólux, de la misma constelación, es roja.

Muchas estrellas dobles presentan colores suplementarios. Así, en la estrella gamma de Andrómeda, la mayor es carmesí, i la menor verde. En Cáncer hai una cuyos componentes son una amarilla i otra azul. En Casiopea hai otra que se compone de una estrella blanca i brillante, con un satélite de un hermoso color púrpura. En la constelación de Cefeo hai una estrella doble, cuyas dos componentes son azules.

§ **13. Estrellas cambiantes.** Hai algunas estrellas que tienen cambios periódicos en su brillo, como **Algol** de la constelación

de Perseo. Esta estrella brilla como de segunda magnitud durante 2 días i $13\frac{1}{2}$ horas, más o menos. Disminuye su brillo en seguida, hasta aparecer como de cuarta magnitud. Después de un tiempo igual al anterior, adquiere de nuevo su brillo.

La estrella ómicron de la constelación de la Ballena, es otra notable. Durante 15 días brilla como una estrella de segunda magnitud. Su luz decrece en seguida durante 3 meses. Permanece después invisible cerca de 5 meses. Cuando reaparece, su brillo aumenta por 3 meses. Pasado este tiempo, adquiere de nuevo su mayor brillo. La duración de este período de cambio es de 334 días, aproximadamente.

A esta estrella se le ha designado con el nombre de **Maravillosa**.

Algunas estrellas disminuyen en brillo sin volverlo a recuperar. Otras han desaparecido totalmente, como la estrella 38 de Perseo.

Actualmente se conocen como 1 000 estrellas cambiantes.

§ 14. Causas de la variabilidad en el brillo de las estrellas.

No se sabe exactamente cuál es la causa del cambio de brillo en algunas estrellas. Todo lo que se diga son simples hipótesis. Algunos piensan que este fenómeno es debido a que esos lejanos soles, jirando alrededor de sus ejes, nos muestran diferentes fases de su superficie, iluminadas desigualmente.

Suponen otros, que la causa sea uno o varios satélites que, jirando a su rededor, se interponen entre ellos i la Tierra. Esta es la hipótesis más probable; i es la que se atribuye a Algol i otras.

§ 15. Estrellas temporales. Estas estrellas aparecen repentinamente. Brillan con más o menos intensidad durante algún tiempo i desaparecen en seguida, también de repente.

La más notable de estas estrellas fué la que observó Ticho-Brahé en 1572, en la constelación de Casiopea. Su brillo podía ser comparado con Júpiter, cuando fulgura en toda su intensidad. Dicha estrella era visible aún en pleno día. Su luz, blanca al principio, se tornó después amarilla, i al fin se volvió roja. Decreció más tarde, hasta que en 1574 desapareció totalmente. No se le ha vuelto a ver. Ya en Casiopea habían antes aparecido dos estrellas brillantes con intervalos de tres siglos, en 945 i 1264. Se cree, por esto, que éstas i la de 1572 sean una misma estrella, de largo período.

Desde el caso observado por Ticho-Brahé, se han anotado muchas otras, i que si no han desaparecido totalmente, han quedado reducidas a puntos apenas perceptibles con el telescopio. A estas últimas se les llama **Estrellas nuevas**. Una de esta clase apareció en la Corona Boreal en 1866. Al principio era de segunda magnitud. En una semana pasó a la primera; i un mes después brillaba como estrella de novena magnitud.

En 1876 se descubrió en la constelación del Cygnus una estrella de tercera magnitud. En 1895 brillaba como estrella de novena clase.

En Agosto de 1885 una estrella de sesta magnitud apareció en la constelación de Andrómeda, dentro de la **Nébula**, de que luego hablaremos. Su brillo disminuyó rápidamente, llegando en pocos meses a un medio de su intensidad primitiva.

En 1892, un aficionado escocés, con un anteojo que aumentaba poco, descubrió una estrella de segunda

magnitud en la constelación del Cochero. Aumentó gradualmente su luz por un mes o dos. Decreció poco a poco, hasta convertirse, al parecer, en una nébula.

La aparición i desaparición de estrellas no supone la destrucción de astros, sino solo el cambio de forma. Una estrella oscura puede hacerse luminosa i una de esta categoría puede convertirse en un cuerpo sin luz.

Todos estos fenómenos deben estar relacionados con la existencia del hidrógeno.

La mayor parte de los fenómenos de que se ha hablado en este párrafo, tienen lugar cerca de la Vía Láctea.

§ 16. Grupos de estrellas i nebulosas. Hai algunas estrellas tan

juntas, que se las designa con el nombre de grupos de estrellas. Algunos de éstos son perceptibles a la simple vista. Uno de ellos lo forman las Pléyades. Otro grupo notable es el de las Hyadas.

En la Cruz hai un grupo de 110 estrellas de varios colores.

Se cree que hai alguna íntima relación química entre las estrellas que componen estos grupos, pero cuya naturaleza es un misterio.

En dichas agrupaciones las estrellas parecen agruparse hacia el centro. Sin embargo, si pudiéramos acercarnos, veríamos que ellas se alejarían de nosotros. I las veríamos tan distantes como vemos las que pertenecen a nuestro firmamento.

El dibujo de la fig. 79 muestra una aglomeración del **Tucán**, constelación de nuestro hemisferio.

Es compacta en el centro, donde aparece de un color rojo anaranjado. El exterior se compone de estrellas blancas, que forman un hermoso contraste,

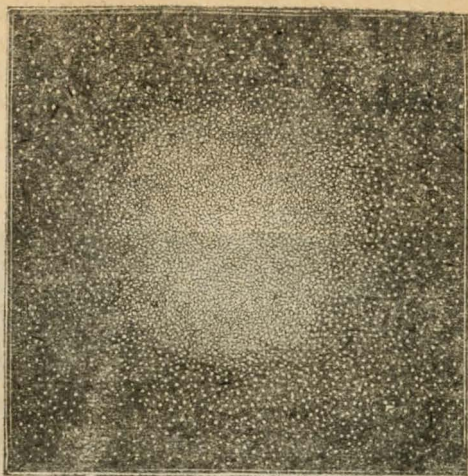


Fig. 79. — Agrupación estelar del Tucán

✓ § 17. Nebulosas. Fuera de estas agrupaciones estelares, existen más allá astros, si así puede decirse, que no se presentan como puntos brillantes, sino como masas blancas, de aspecto lácteo. Son de forma variada i parecen nubes. De aquí el nombre de **nebulosas**. No son visibles a la simple vista; pero el telescopio revela la existencia de miles de ellas. (Véase § 8, Introducción).

Las nebulosas difieren de las agrupaciones estelares, en que no se resuelven en estrellas.

Antes de la invención del espectroscopio, se pensó que toda nébula era simplemente un conglomerado de estrellas, tan inmensamente lejanas, que su luz no llegaba distintamente al campo del anteojo; pero el análisis del espectro demuestra que muchas de estas nubes luminosas son **gaseosas**.

Hai muchas nébulas en la Vía Láctea, siendo su número mayor cerca del polo sur.

Hoi jeneralmente se admite que la nébula constituye **la materia prima de las estrellas**. En consecuencia, todas las estrellas debieron existir en un principio en dicho estado.



Fig. 80.—Nebulosa elíptica de Andrómeda.

La forma de las nébulas es variable. Las hai elípticas, anulares, en espiral e irregulares. La forma elíptica es la más abundante. La nebulosa de Andrómeda es elíptica (fig. 80). Esta es débilmente visible a la simple vista. Fué la primera que se descubrió. Cupo el honor del descubrimiento a **Simón Mario**, en 1612.

Bond, del observatorio de Cambridge, la resolvió en parte en estrellas. Contó unas 1 500. Su distancia a la Tierra es tal, que algunos astrónomos han estimado que la luz demora en llegar a nosotros unos **800 000** años!

Las nebulosas anulares tienen la forma de un anillo. Se conocen varias. Una es la que se halla en la constelación de la Lira, fig. 81.

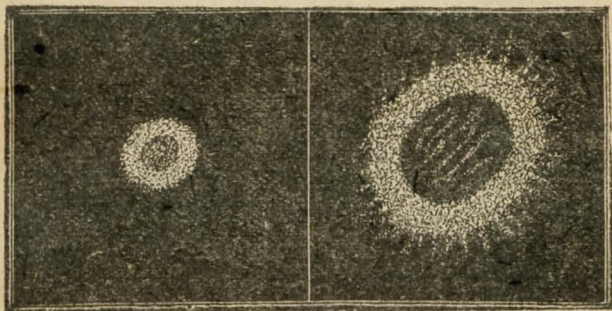


Fig. 81. Nebulosa anular de la Lira.

En la izquierda aparece como la vió Herschel, con una membrana luminosa al centro. En la figura de la derecha, está como apareció en el poderoso telescopio de **Lord Rosse**. Gran parte se resuelve en pequeñas estrellas. Revela, además, una franja de estrellas a lo largo de la orilla.

Las nébulas en forma de espiral son muy raras. La más notable se halla en la constelación **Perros de Caza**. La fig. 82 da una idea de ella.

Las nébulas irregulares no tienen formas definidas. Algunas presentan el aspecto de nubes rotas por la tempestad, i otras son muy fantásticas. Por ejemplo



Fig. 82.—Nebulosa espiral de Caines Venaticé.

una nébula que hai en la constelación de Orión, tiene una forma que se parece a las alas de un murciélago, fig. 83.

Hai también nebulosas variables, como algunas estrellas. **Hind** afirma que una nebulosa de la constela-



Fig. 83.—Gran nébula de la constelación de Orión

ción del Toro era visible en 1852, con un pequeño telescopio. I ya en 1862 había desaparecido, aún para los más poderosos anteojos.

La gran nébula de Argos, que en 1838 mostraba en el centro un espacio vacío, que contenía una estrella de primera magnitud, encerrada por una materia nebulosa, había cambiado en 1863. La materia nebulosa había desaparecido, i la estrella era sólo de sesta magnitud.

Finalmente se distinguen las **nébulas planetarias**. Su aspecto es de forma circular. Su luz es mui uniforme i pálida. Su aspecto se asemeja a los discos de los distintos planetas de nuestro sistema. Sus orillas están mui bien definidas, aunque lijeramente onduladas. En la Osa mayor hai una nébula de esta naturaleza.

§ 18. Nubes de Magallanes. No lejos del polo Sur celeste, hai dos manchas como nubes. Son visibles en el horizonte de Santiago, a la simple vista. Se las llama **Nube mayor** i **Nube menor** de Magallanes.

Johan Herschell, dice de ellas que constituyen dos pantanos de estrellas, consistentes en grupos i nébulas distribuídas en enorme confusión. En la Nube mayor encontró 582 estrellas simples, 46 grupos i 281 nébulas.

Del ligero análisis hecho en este capítulo, se deduce que la magnitud del Universo es infinita, como infinito es el poder de la causa que lo jenera: **Dios**.

VI.

LA TIERRA EN ESPECIAL.

§ 1. La Tierra no es plana. Los antiguos suponían que la Tierra era plana, i que los cielos se juntaban en alguna parte con el horizonte.

Esto no es así. La Tierra no es plana.

Desde Santiago de Chile no se ven la Estrella polar ni las dos Osas. Pero si se avanza en dirección de un meridiano, i hacia el norte, nuevas estrellas van apareciendo a la vista del observador. Cuando se llega al Ecuador, toda la Bóveda estrellada del hemisferio visible está a la vista. Si se sigue avanzando hacia el norte, llegará un momento en que no serán visibles ni la Cruz del Sur, ni las nébulas de Magallanes. Esto se debe a que de norte a sur la Tierra no es plana. Hai una curvatura.

Tampoco la Tierra es plana de occidente a oriente. Si lo fuera, se verían salir los astros al mismo tiempo que en Santiago, en Buenos Aires, por ejemplo, prescindiendo de la cordillera de los Andes. I la experiencia nos dice que esto no es así.

Los viajes de circunnavegación, indican también que la Tierra no tiene aristas.

Resumen: la Tierra no es plana.

§ 2. La Tierra es redonda. Los cuerpos redondos son de varias clases.

¿A qué forma se asimila la de la Tierra?

Cuando hai eclipse de Luna, la **sombra de la Tierra** se proyecta en ella. Esta sombra es de forma circular. Luego el cuerpo que la produce debe tener forma es-

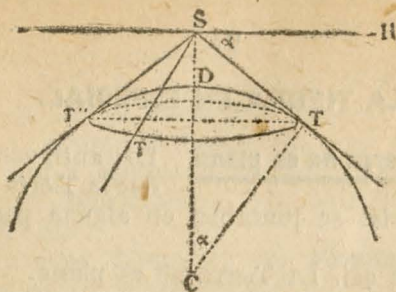


Fig. 84

férica, o al menos sensiblemente esférica. Luego la Tierra es redonda.

El ángulo de depresión del horizonte prueba también la esfericidad del planeta.

Llámanse depresión del horizonte, el ángulo que forma la tangente a la Tierra con el horizonte racional.

Sea C el centro de la Tierra i H S el horizonte racional, fig. 84. El observador supongámoslo colocado a cierta altura, en un globo cautivo, pongamos por caso, en el punto S. El ángulo de depresión es el ángulo $\alpha = \text{HST}$ = a los ángulos que HS forma con las tangentes ST', ST'', etc.

Para una misma altura, el ángulo de depresión es igual, cualquiera que sea la dirección en que se mida. De esto se concluye lógicamente que la Tierra es esférica.

§ 3. Verdadera forma de la Tierra. La Tierra no es totalmente

esférica.

Si la Tierra fuera una esfera, la intensidad de la gravedad sería igual en los Polos i en el Ecuador. I la experiencia nos dice lo contrario. La intensidad

de la gravedad crece del Ecuador al Polo. Es mínima en el Ecuador i máxima en el Polo. Luego un punto de la zona ecuatorial deberá estar más lejos del centro de la Tierra, que un punto de la zona polar. Luego la Tierra es achatada en los polos i protuberante en el Ecuador.

Los matemáticos han probado también que la Tierra no es una esfera, midiendo directamente un arco de meridiano.

Maraldi, Domingo i Santiago Cassini, midieron el arco del meridiano que atraviesa la Francia: $8\frac{1}{2}$ grados. I encontraron que los arcos de un grado no tenían la misma longitud lineal. Crecían del Ecuador al Polo. Se atribuyó esto a errores. Para salir de dudas, la **Academia de Ciencias** de París determinó la medición de un arco del meridiano en diferentes latitudes. Con este fin se enviaron comisiones al Perú i a la Laponia, mientras otra rectificaba las operaciones en Francia. Se encontró que la latitud de un grado era mayor en Laponia que en el Perú. El asunto estaba resuelto: la Tierra no es una esfera. Si lo fuera, la longitud de un grado sería igual en todas partes.

§ 4. La Tierra es un elipsoide de revolución.

Llámase elipsoide de revolución, un cuerpo enjendrado por la rotación de una elipse, en torno del eje menor.

El elipsoide de la Tierra no es mui pronunciado, porque su achatamiento es pequeño.

Clairaut, que formó parte de la Comisión que fué a Laponia, publicó a su regreso una **Théorie de la forme de la Terre**. La suponía fluída en su orijen.



Clairaut, 1713-1760

Clairaut fué un espíritu matemático muy precoz. A los 18 años fué recibido en la Academia de París, dispensándosele 10 años, concesión única hecha hasta esa fecha.

El repitió i corrigió los cálculos de Halley, relativos a la vuelta del cometa, tomando en cuenta las perturbaciones producidas por las grandes masas de

Júpiter i Saturno.

§ 5. Valor del achatamiento de la Tierra. Las diferentes me-

didas hechas han dado por resultado que el

Radio ecuatorial es = 6377,398 km.

Radio polar es = 6356,080 »

I como el achatamiento de un planeta es

$$= \frac{R_e - R_p}{R_e}$$

se sigue que el valor del achatamiento de la Tierra es apenas de cerca de

$$\frac{1}{300} \left(\frac{1}{299} \right)$$

Tomando en cuenta el valor de este achatamiento, el meridiano terrestre mide **40 007 472** metros. Sin embargo, en la práctica se considera a la Tierra como

una esfera. Su radio es de **6 371 km.** i el meridiano mide **40 000 km.**

I como un círculo máximo mide 360° , se tiene que **el arco de 1° es de 111,111 km.** Luego **el arco de un minuto** es igual a **1 852 metros.** Esta es la **milla marina.**

Un segundo de arco mide unos **30 metros**, más o menos.

§ 6. Relieve de la Tierra. Suponiendo la Tierra como un globo de 5 decímetros de diámetro, la diferencia de los dos diámetros, ecuatorial i polar, no pasaría de 2 milímetros. Luego las asperezas i hendiduras de la corteza terrestre son tan poco sensibles, como lo son las de la corteza de una naranja.

La Tierra está cubierta en sus $\frac{3}{4}$ por los mares, correspondiendo la mayor parte al hemisferio sur.

La mayor parte de la superficie seca pertenece al hemisferio norte. En este hemisferio está el monte más alto, en el Himalaya. Es el **Everest** o Gaurisankar, que mide 8 340 metros.

La mayor profundidad de los mares alcanza a 9 425 metros.

§ 7. Peso de la Tierra. Conociendo el radio de la Tierra, su superficie i su volumen son fácilmente calculables, por las fórmulas

$$S = 4\pi r^2 \text{ i } V = \frac{4}{3} \pi r^3.$$

Los físicos han también calculado su densidad. Siendo **1** la del agua, la de la Tierra es $5\frac{1}{2}$.

El peso de la Tierra también se ha calculado. Es igual a

6 000 000 000 000 000 000 000 de toneladas.

§ 8. Medición del arco de un grado de meridiano

terrestre. Eratóstenes fué el primero que midió el arco de un grado de meridiano.

Este sabio notó que, en el día del solsticio de verano, el sol pasaba a $7^{\circ} 12'$ del cenit de Alejandría. Ese mismo día en Syena, al sur de Alejandría, el sol pasaba por el cenit. De aquí dedujo que estas dos ciudades, situadas casi en un mismo meridiano, tenían una diferencia en latitud de $7^{\circ} 12'$. Dividió entonces la longitud lineal que las separaba por $7^{\circ} 12'$, i obtuvo la longitud de un grado.

En 1550, Fernel, médico i astrónomo de Enrique II, midió el arco de meridiano comprendido entre París i Amiens, contando el número de vueltas que daba la rueda de su carruaje.

Estas ciudades están también, poco más o menos en un mismo meridiano. Determinó la diferencia de sus latitudes, i procedió en seguida como Eratóstenes.

Al medir un arco de meridiano, hai primero que determinar la dirección de la meridiana. Se fija después qué parte de esta meridiana es la que desea medirse. Se calcula en seguida la diferencia en latitud de los extremos de la parte de la meridiana que se quiere medir. Hecho esto, se procede a la medición lineal. Para esto se usan procedimientos de matemáticas superiores, que no es del caso indicar aquí.

§ 9. Rotación de la Tierra.

La sucesión del día i de la noche prueban la rotación de la Tierra. En efecto: se ha dicho ya que las nébulas, por ejemplo, distan de nosotros por magnitudes casi incomprensibles. Siendo esto así, para que en 24 horas pudieran recorrer su órbita, se necesitaría una velocidad menos comprensible aún, incontable.

Los vientos alisios, i las grandes corrientes marinas, prueban también la rotación del planeta.

La desviación hacia el oriente, del camino que un cuerpo sigue, al dejársele caer desde alguna altura, i el experimento de León Foucault, prueban práctica i fehacientemente la tesis.

El achatamiento de la Tierra es una consecuencia de su rotación.

Observación. — Esplaye el profesor el experimento de Plateau.

§ 10. Consecuencias del movimiento de rotación de la Tierra.

Del movimiento de rotación de la Tierra resultan dos consecuencias, que aunque algunas se han ya mencionado, conviene repetir las. Son:

- 1) El movimiento diurno del Sol.
- 2) El movimiento diurno de las estrellas.

Un punto situado en el Ecuador terrestre, recorre una circunferencia mayor en 24 horas, que la que recorre, por ejemplo, un punto situado a 33° de latitud sur. ¿Por qué?

Luego la velocidad lineal decrece del Ecuador al Polo. Aquí es nula. Pero a nosotros nos parece que es la bóveda estrellada la que jira. Resulta de aquí una desigualdad en el movimiento diurno de las estrellas. Así veremos caminar más lijero la estrella Sirio, de la constelación del Perro mayor, que la estrella α de la Cruz del Sur, que es circumpolar para Santiago de Chile.

§ 11. Movimiento de traslación de la Tierra. La Tierra jira

alrededor del Sol.

Prueban esta tesis, la **periodicidad** de las exhalacio-

nes meteóricas en el curso de un año, i de que ya se ha hablado.

La aberración de la luz es la prueba más matemática de la realidad del movimiento de traslación.

Consiste la aberración en un desvío que sufre un rayo luminoso, debido al movimiento de traslación del planeta i a la velocidad de la luz.

Si en un día de lluvia, sin viento, miramos caer las gotas, éstas caen verticalmente. Pero si nos ponemos en movimiento, las gotas se inclinan, como si viniesen a nuestro encuentro. Nos detenemos i el fenómeno cesa. Si retrocedemos, el fenómeno se produce en sentido inverso. Tal es el fenómeno de la aberración. En nuestro ejemplo, las dos componentes son la velocidad de las gotas de lluvia i la que el observador adquiere.

La Tierra recorre 30 km. por segundo i la luz 300 000 km. en igual tiempo. Estas dos componentes dan un ángulo de aberración de **20''**.

La Tierra dista del Sol 150 000 000 de km. = 23 400 radios terrestres. Un rayo de luz del Sol recorre esta distancia en $8\frac{1}{3}$ minutos. Por este hecho no vemos el Sol donde está, sino donde estaba $8\frac{1}{3}$ minutos antes. I en este intervalo de tiempo la Tierra ha recorrido un arco de su órbita. De modo que no se ve al Sol en el lugar exacto que ocupaba en el momento de la observación.

De igual manera, por efectos de la aberración, cada estrella describe, en el curso de un año, una pequeña elipse, cuyo punto central sería el lugar que la estrella ocuparía si la Tierra no se moviera.

Estas pequeñas elipses de aberración que forman las estrellas en un año, prueban la traslación de la Tierra.

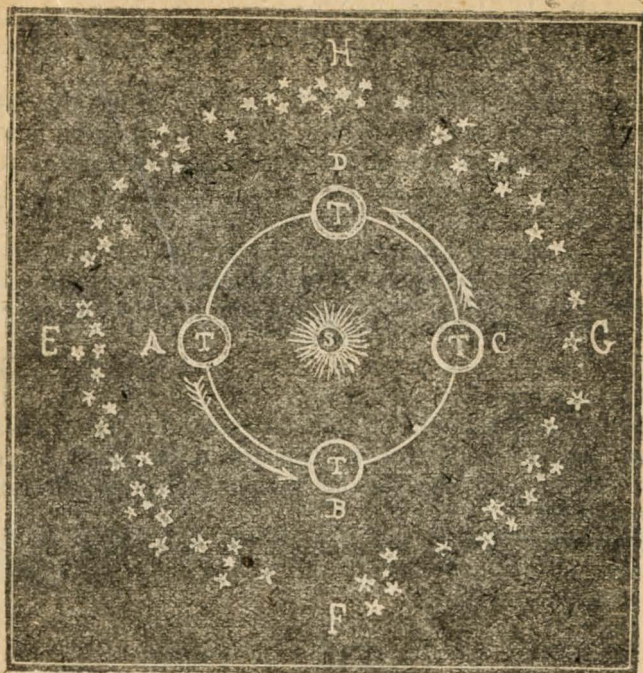


Fig. 85

§ 12. Consecuencias del movimiento de traslación de la Tierra. El movimiento de traslación, como el de rotación, trae algunas consecuencias, que analizaremos brevemente.

I.

El aspecto de la bóveda estrellada no es igual en todos los meses del año.

Sea la fig. 85.

En ella, la circunferencia ABCD es la órbita de la Tierra, i S el Sol. La zona EFGH es la Bóveda estrellada.

Supongamos la Tierra en A. En esta situación, las estrellas en G son invisibles. Están en el meridiano al mismo tiempo que el Sol, i los rayos de este astro las ocultan. Después de tres meses la Tierra se trasladada a B. Ha recorrido $\frac{1}{4}$ de su órbita. Aquí las estrellas de la zona F aparecen en el meridiano a la media noche. Las en E, parece que hubieran descendido al oeste. Las estrellas en G empiezan a verse hacia el este. Las en H son invisibles.

Tres meses más tarde la Tierra está situada en G. Ahora las estrellas en E están ocultas i las en G brillan a la media noche en todo su esplendor. Igual cosa pasa cuando la Tierra se traslada a D. Después de una revolución completa, las mismas estrellas vuelven a aparecer.

Resumen: por el movimiento de traslación de la Tierra, en el curso de un año se pasa revista a toda la Bóveda estrellada.

II.

El Sol se mueve en Ascensión Recta.

Ya se ha hablado de este movimiento. Recorre un grado por día.

III.

El Sol se mueve en Declinación.

También este punto se ha considerado debidamente. En los equinoxios, el Sol sale en el punto **Este**.

En el verano sale al Sur de este punto i en el invierno al norte. Hablamos del hemisferio austral. El Sol parece oscilar a ambos lados del Ecuador.

IV.

Variaciones en la duración del día i de la noche.

El día de los equinoxios, la duración del día i de la noche son iguales, de doce horas, para todos los puntos de la Tierra, porque el **círculo de iluminación** pasa por los polos.

Obsérvese el dibujo de la fig. 86.

En este dibujo la elipse es la Eclíptica. La recta EE' es el Ecuador.

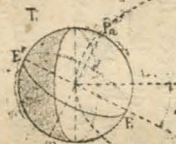
Tomemos en nuestro hemisferio, como punto de partida, el equinoxio de Aries: I. A partir de este día, como la declinación boreal del Sol crece, los días van disminuyendo i las noches alargando. El Sol sale cada vez más tarde i se pone más temprano. Cuando el Sol llega al trópico de Cáncer, se tiene en Chile el día más corto. Entonces la Tierra está en la posición que ocupa a la izquierda del dibujo que precede: II. Los rayos solares iluminan más directamente el hemisferio norte. El círculo de iluminación cubre el polo boreal: hai pleno verano en dicho hemisferio.

A partir del solsticio de Cáncer, la declinación boreal del Sol disminuye, hasta que llega a **cero**. La Tierra se encuentra entonces en la posición inferior del dibujo: III. El Sol está en el equinoxio de Libra: 21 de Setiembre.

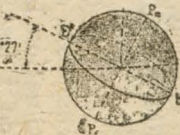
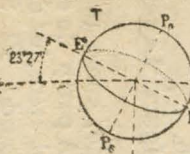
Desde esta fecha en Chile los días continúan aumentando en duración. La declinación austral del Sol aumenta. Cuando llega a $23^{\circ} 27'$, el Sol recorre el trópico de Capricornio. La Tierra está ahora en la

II.—21 Junio.

Mouvement de Rotation



I.—21 Marzo.



III.—21 Setiembre.

Fig. 86.

23°27'



IV.—21 Diciembre.

Mouvement de Translation

posición de la derecha: IV. El círculo de iluminación no cubre ya el polo norte. Hai invierno en el hemisferio boreal i verano en el nuestro.

El 21 de Diciembre tenemos el día más largo. Decece éste en seguida, hasta que el Sol llega al equinoxio de Aries.

Esto se repite perpetuamente.

Las variaciones de la duración del día en los equinoxios es mui rápida. Es lenta en los solsticios.

En el polo hai, en el curso de un año, un día i una noche, de seis meses cada una. Pero debido al **crepúsculo**, que en el polo tiene su mayor duración, la oscuridad completa dura más o menos unos tres meses.

Un observador situado en los círculos polares tiene, en el curso del año, un día sin noche, de 24 horas; i una noche sin día, también de 24 horas.

Entre los círculos polares hai siempre día i noche. Su duración depende de la latitud. En Santiago de Chile la máxima duración del día es de **14 horas 54 minutos**. La noche más corta es de **9 horas 6 minutos**.

V

Las estaciones.

Al trasladarse la Tierra alrededor del Sol, su eje conserva siempre una posición paralela a sí mismo. Esto, i la oblicuidad de la Eclíptica son la causa de las estaciones.

Observemos el dibujo de la fig. 87.

Tomemos como punto de partida el 21 de Marzo. En nuestro hemisferio empieza el Otoño i la Primavera en el hemisferio boreal.

A medida que la Tierra avanza, el círculo de iluminación va cubriendo cada vez más al polo norte,

mientras que el polo sur no es tocado por los rayos solares.

Llega el 21 de Junio. El Sol está en el solsticio de Cáncer: empieza nuestro Invierno, i el Verano para los habitantes del otro hemisferio.

Desde el 21 de Junio, el círculo de iluminación se aproxima al polo sur i se aleja del polo norte. El 21 de Setiembre pasa por ambos polos. Termina nuestro Invierno i empieza la Primavera, hasta que el 21 de Diciembre empieza nuestro Verano; i los fríos invernales azotan a las rejiones templadas i polares del hemisferio norte.

Las estaciones, pues, están cambiadas en ambos hemisferios.

Los límites de las estaciones son los puntos equinoxiales i solsticiales.

La duración de las estaciones no es igual. La razón de esto es que la línea de los solsticios i la línea de los equinoxios dividen al plano de la Eclíptica en cuatro partes desiguales.

Si la línea de los solsticios coincidiera con la línea de los apsides, las estaciones serían iguales dos a dos.

Pero la línea de los apsides se mueve. El perihelio avanza en sentido directo. Ambas líneas forman hoy un ángulo de 10° . Este ángulo es variable.

La duración de las estaciones es:

Primavera,	89 días 1 hora.
Verano,	89 días 18 horas.
Otoño,	92 días 21 horas.
Invierno,	93 días 14 horas.

§ 13. Precesión de los equinoxios. La precesión de los equinoxios

es un movimiento retrógrado de los puntos equinoxiales. Se la atribuye a la atracción solar sobre las protuberancias del Ecuador terrestre.

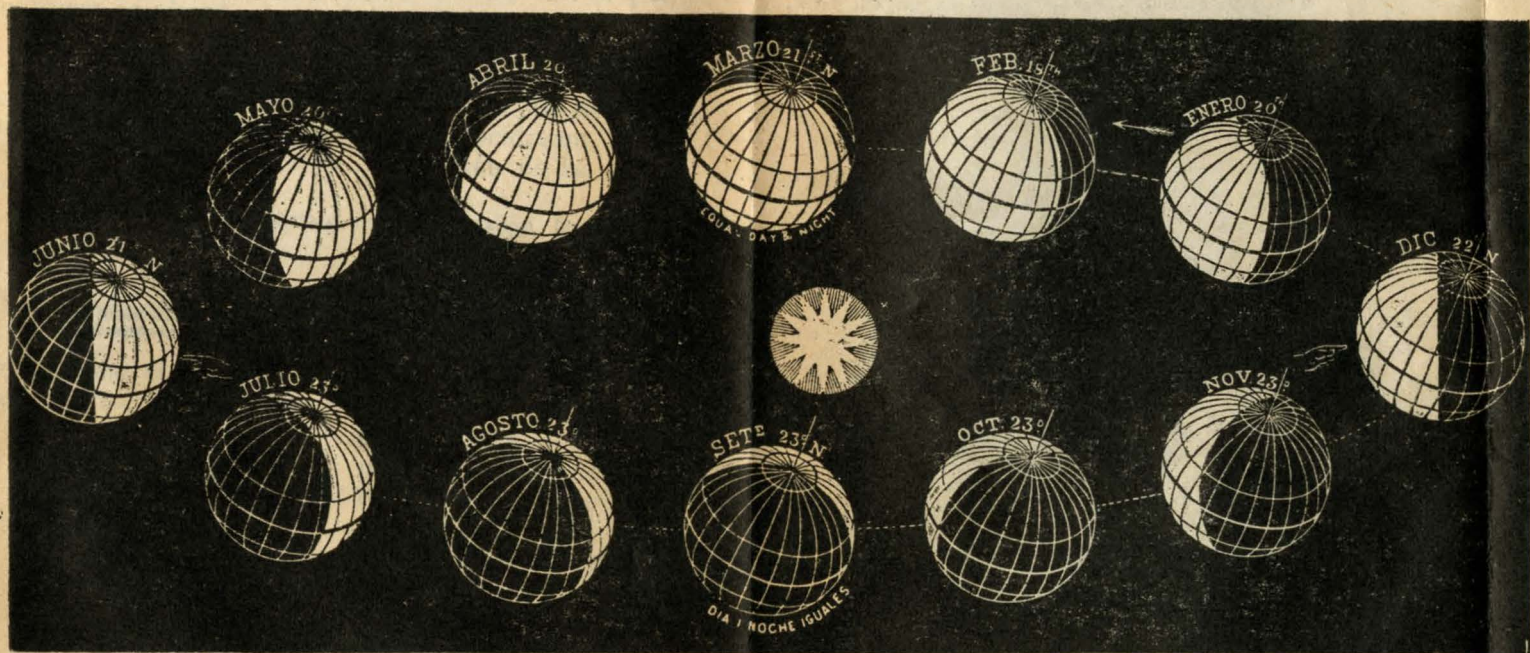


Fig. 87



El movimiento retrógrado de los equinoxios es de unos **50",2** por año.

Los puntos equinoxiales darán una vuelta completa en unos 26 000 años.

La precesión de los equinoxios trae algunas consecuencias:

1. Algunas estrellas se acercan a los polos, al par que otras se alejan.

2. Anticipa el instante del equinoxio.

3. Hace que los signos del Zodíaco no coincidan con las constelaciones del mismo nombre. En tiempos de Hiparco, hace unos 2 000 años, coincidieron.

4. Produce variaciones en la duración de las estaciones.

5. Hace crecer la longitud i la Ascensión Recta de las estrellas.

§ 14. Nutación del eje de la Tierra. Es éste un fenómeno por medio del cual el eje de la Tierra describe un cono de base elíptica en $18\frac{1}{2}$ años. Se atribuye a la atracción de la Luna sobre las protuberancias del Ecuador terrestre. Este movimiento fué descubierto por **Bradley**, astrónomo inglés.



D'Alembert, 1717-1783.

La combinación de la nutación del eje de la Tierra con la precesión de los equinoxios, hace que el Polo describa en la esfera celeste, alrededor del eje de la Eclíptica, una curva sinuosa.

D'Alembert hizo pre-

ciosas investigaciones sobre las perturbaciones relativas a la precesión i nutación, considerando los tres cuerpos que en ellos actúan.

D'Alembert, a más de matemático, fué un profundo filósofo i un gran literato. Fué uno de los fundadores de la Gran Enciclopedia del siglo XVIII.

§ 15. Zonas jeográficas. Los trópicos i los círculos polares dividen a la Tierra en zonas.

La zona tórrida está entre los dos trópicos. Tiene una amplitud de $46^{\circ} 54'$.

Las zonas templadas están entre los trópicos i los círculos polares. ¿Cuál es su amplitud?

Las zonas polares están alrededor del Polo, i comprendidas en los círculos del mismo nombre.

§ 16. Perturbaciones periódicas de las órbitas planetarias. Entiéndese por perturbaciones periódicas de las órbitas planetarias, una deformación mui lenta que éstas experimentan, tanto para aproximarse a la forma circular, como para apartarse de ella. La órbita de la Tierra, por ejemplo, actualmente se deforma, acercándose a la circular, cada vez más; i seguirá disminuyendo su excentricidad durante un período de 24 000 años. Después de este tiempo, presentará una característica inversa. Se alejará de dicha forma, i el fenómeno se



Lagrange, 1736-1813.

repetirá alternativamente, mientras existan las causas que lo jeneran.

Las demás órbitas planetarias sufren las mismas deformaciones.

Todas estas perturbaciones son debidas a las acciones recíprocas de los planetas.

La gloria del descubrimiento de estas perturbaciones, se debe al ilustre astrónomo i matemático **Lagrange.**

Lagrange nació en Italia. Sus padres eran franceses. Desde temprano manifestó preferencia por las Matemáticas. A los 18 años era profesor de la Escuela de Turín; i a los 25, publicó un trabajo sobre Matemáticas, que tuvo gran resonancia.

VII.

LA LUNA.

§ 1. Aspecto de la Luna. La Luna la vemos como un disco, mui semejante al del Sol, cuando se encuentra en la oposición. Su luz no hiere la vista. Es que carece de luz propia. La que posee la recibe del Sol.

Su diámetro aparente, considerando su valor medio, es de unos $31\frac{1}{2}$ minutos.

A la simple vista, se ven en la Luna algunas manchas grises. Antiguamente se las consideró como mares, i bajo esta hipótesis se les dió diferentes nombres. Hoi se conservan dichas denominaciones.

Las manchas no son mares. Son grandes llanuras, pues guardan siempre la misma forma i la misma posición. Este hecho demuestra que están adheridas

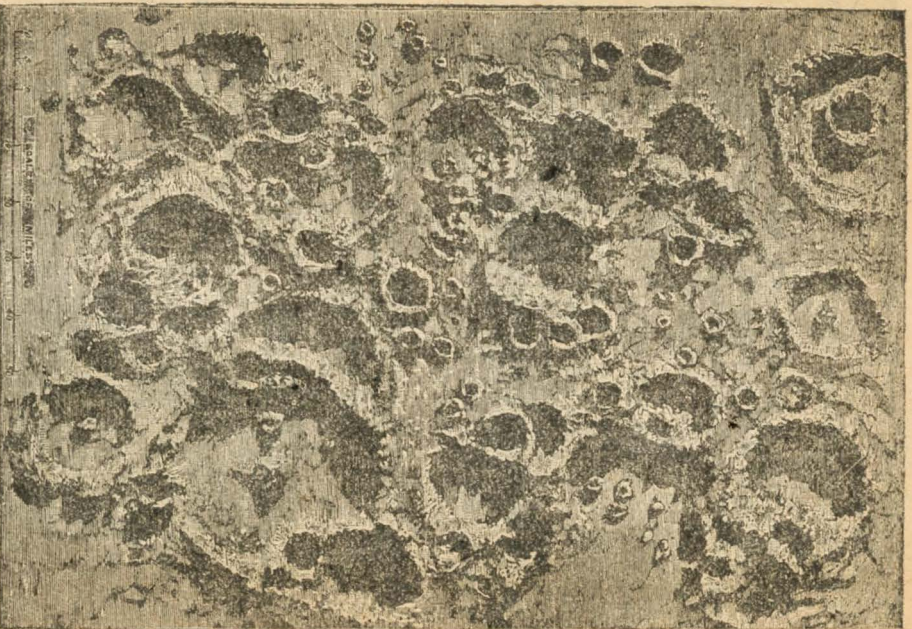


Fig. 88

a la superficie: no son nubes, ni sombras de montañas. La desigualdad en la intensidad de su luz depende de la constitución física del suelo, que refleja en mayor o menor escala la luz solar hacia la Tierra.

Las partes más brillantes del disco lunar, son las más altas montañas. Brillan más intensamente, porque reciben más directamente los rayos solares.

El globo lunar está cubierto de grandes picos i cráteres, que revelan su estado volcánico anterior. Los dibujos de la fig. 88 i 89 indican una vista telescópica de una parte de ella.

La figura 90 representa una vista ideal de la Luna.

Midiendo las sombras que las montañas lunares proyectan tras de sí, se ha medido la altura de algunas de sus montañas. Estas medidas arrojan:

Para Dorfel.....	7 603 metros
Leibnitz.....	7 600 »
Newton.....	7 264 »

Como el radio de la Luna es menor que el de la Tierra, las montañas son relativamente más altas que las de ésta.

§ 2. **Atmósfera lunar.** La Luna carece de atmósfera. Es un planeta muerto, si así puede decirse.

Se ha probado que en la Luna no hai atmósfera, por la ocultación de las estrellas. No existe la refracción. El instante de la ocultación i aparición es instantáneo, cuando la Luna pasa delante de una estrella. Si no existe atmósfera, tampoco existe agua. Luego la vida animal, tal como se desarrolla en la Tierra, no podrá allí subsistir.

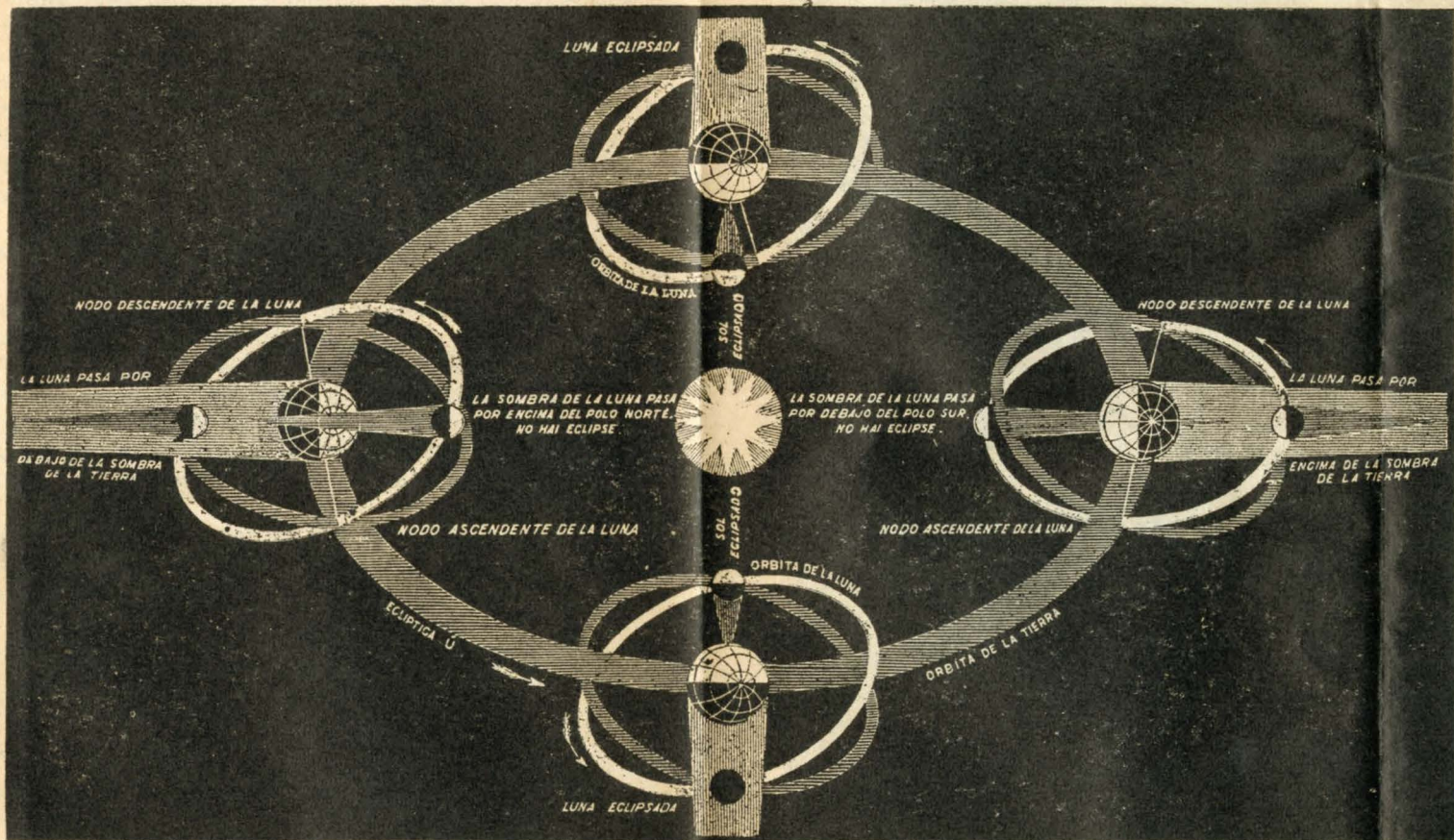


Fig. 96.—Nodos de la Luna.—Eclipses de Luna.

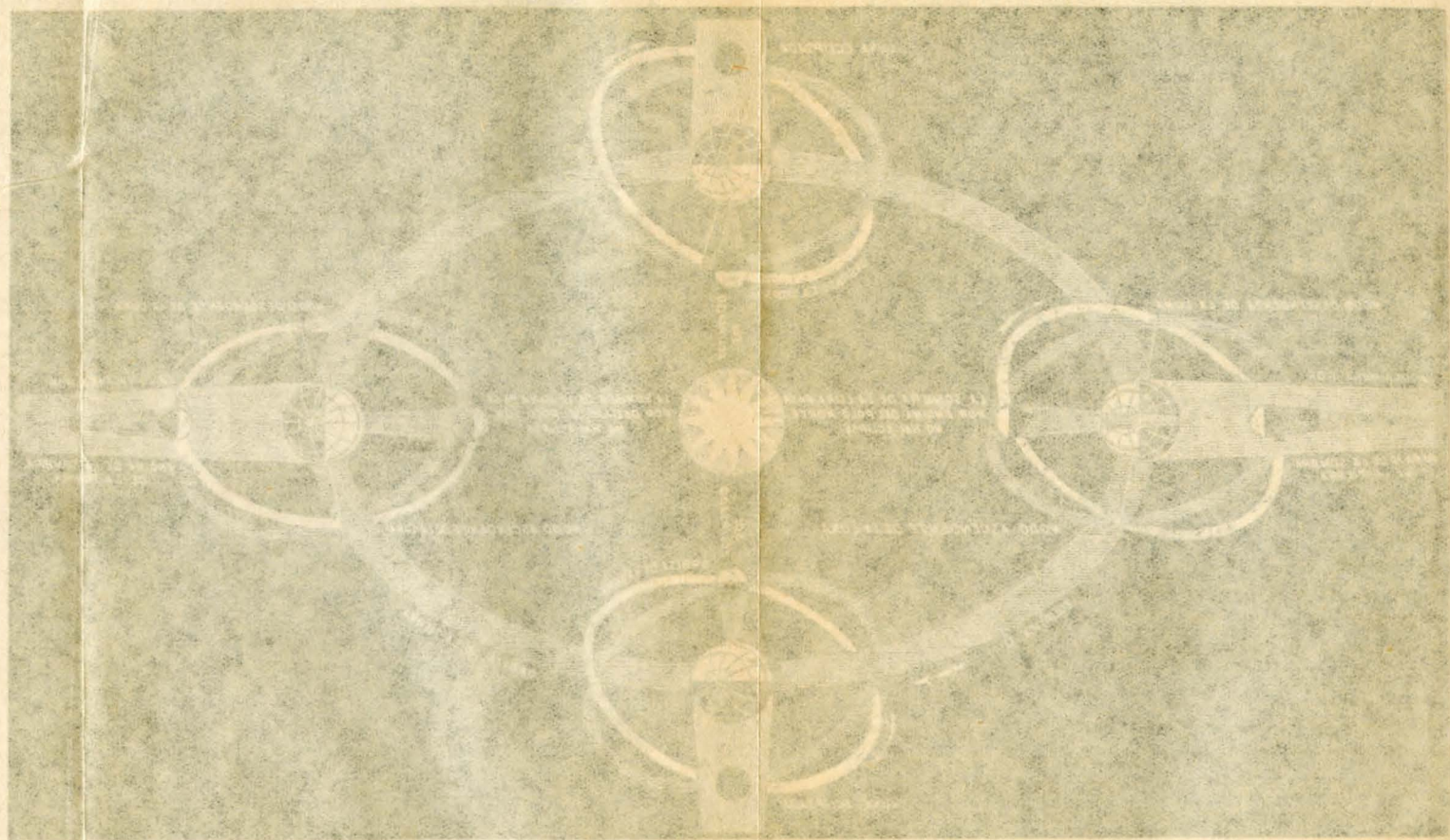




Fig. 89



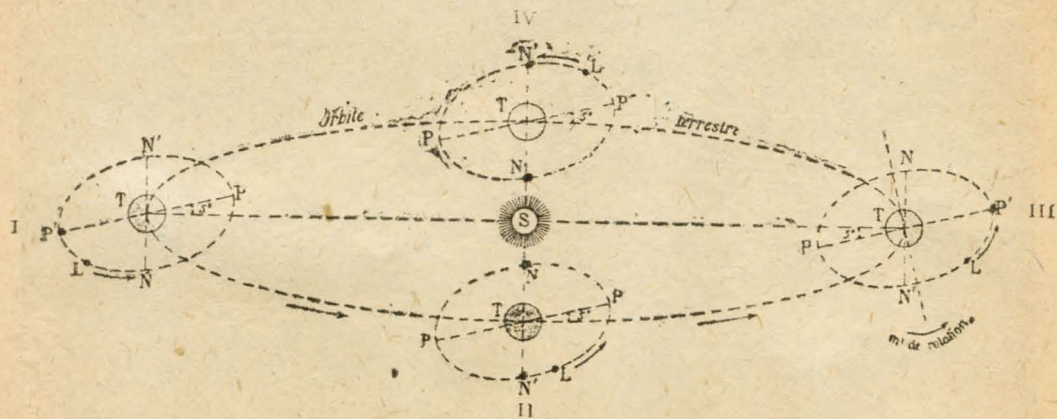


Fig. 91.

4 § 3. Distancia de la Luna a la Tierra. El valor medio de la paralaje de la Luna es de unos $57' 30''$. Fué calculada por **Lalande i La-Caille** en 1756.

Por la paralaje se ha calculado su distancia a la Tierra. Es de 60 radios terrestres = 96 000 leguas métricas = 384 000 Km.

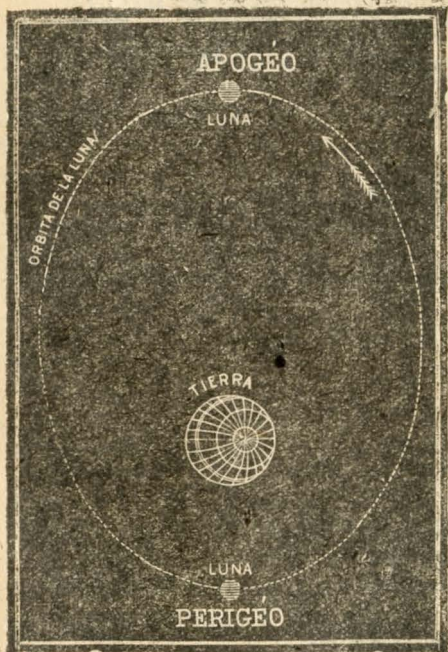


Fig. 92

§ 4. Dimensiones de la Luna. La Luna es menor que la Tierra. Equivale a $\frac{1}{49}$ de ella.

Su radio es $= \frac{3}{11}$ del radio de la Tierra.

Su masa es de $\frac{1}{17}$ i su densidad equivale a los $\frac{3}{5}$ de la que corresponde a la Tierra.

§ 5. Movimientos de la Luna.

La Luna jira alrededor de la Tierra, Su órbita no coincide con el plano de la Eclíptica. Tiene una inclinación de $5^{\circ} 8'$, fig. 91.

Jira alrededor de la Tierra en $27\frac{1}{2}$ días. Esta es la revolución **sidereal**. Recorre 13° por día, en sentido directo.

Revolución sidereal de la Luna, es el tiempo que emplea en recorrer su órbita, para volver a la misma estrella que se toma como punto de partida.

La revolución sinódica es diferente. La efectúa en $29\frac{1}{2}$ días.

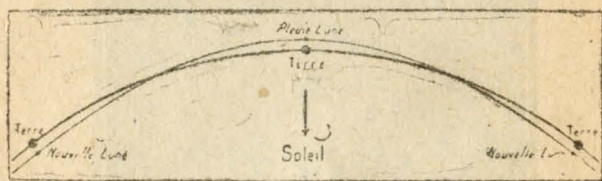


Fig. 93.—Órbita de la Tierra i de la Luna,

Revolución sinódica, es el tiempo trascurrido entre dos conjunciones sucesivas.

En conformidad a la primera lei de Képler, la órbita lunar se asimila a una elipse, en uno de cuyos focos está la Tierra, fig. 92.

Pero en realidad la órbita lunar es una curva ondulada, abierta (fig. 93). Débese esto a que al mismo tiempo que la Luna jira alrededor de la Tierra, ésta se mueve alrededor del Sol; i éste a

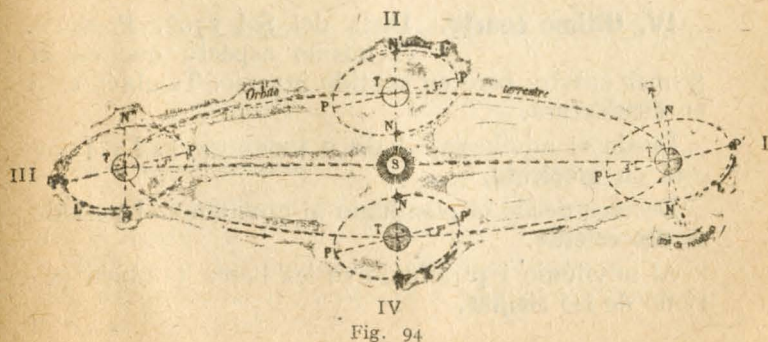
su vez va hacia otro punto del espacio. De manera que nunca la Luna pasa dos veces por un mismo punto.

La Luna jira también sobre su eje. Este movimiento lo efectúa en un tiempo igual al de la traslación. Se ha descubierto esto por sus manchas, i por un procedimiento análogo al que se ha empleado para deducir la rotación del Sol.

El hecho de que el movimiento de rotación sea igual al de traslación, es la causa de que **veamos siempre un solo hemisferio del globo lunar.**

El movimiento medio de la Luna se acelera algunos segundos por siglo. Laplace reconoció que esta aceleración es debida a la atracción del Sol, en combinación con las perturbaciones de la órbita terrestre. También ha encontrado Laplace una pequeña perturbación en el movimiento de nuestro satélite, debido al achatamiento de la Tierra.

§ 6. Fases lunares. Llámanse fases lunares los diversos aspectos que presenta la Luna en el curso de un mes. Se las reduce a cuatro principales:



I. Novilunio o Luna nueva. En ésta la Luna no se ve. Se interpone entre el Sol i la Tierra, i muestra a la Tierra el disco oscuro. La Luna está en conjunción.

En la fig. 91 i 94, en las posiciones I i III, hai conjunción, si la Luna está en P. En las II i IV hai conjunción, si la Luna está en N.

En conjunción, la diferencia en longitud con respecto al Sol es 0° .

II. Primer cuarto. La Luna dista 90° del Sol. Se ve la mitad del disco. La Luna está en cuadratura.

III. Plenilunio, o Luna llena. Dista del Sol 180° . Ahora es la Tierra la que se interpone entre la Luna i el Sol. El disco lunar se ve totalmente. La Luna está en oposición. En las posiciones I i III, la Luna está en oposición en P'; i en las II i IV, cuando está en N'.

IV. Ultimo cuarto. Dista del Sol 270° . Presenta el mismo aspecto que en el primer cuarto; pero en sentido inverso. También está en cuadratura.

Desde el novilunio, el disco lunar crece. La Luna está en **creciente**.

Decrece desde el plenilunio al novilunio: el período es **decreciente**.

Al novilunio i plenilunio se les llama también período de las **sicilias**.

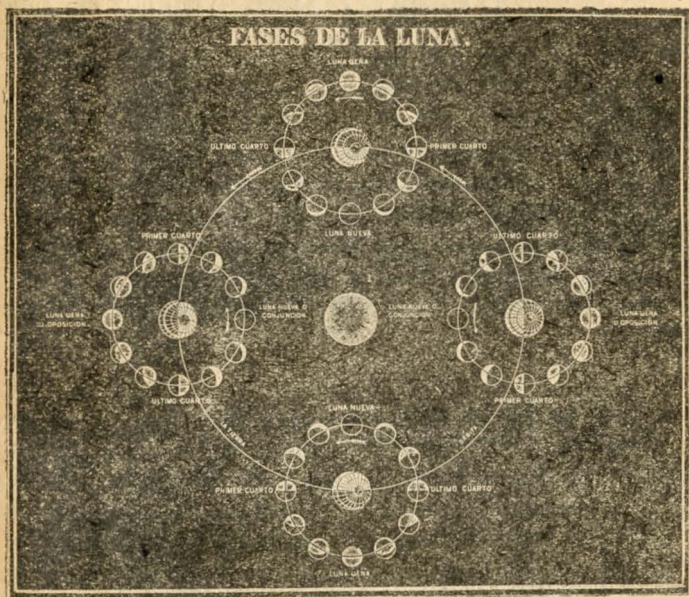


Fig. 95

La figura 95 indica el proceso de las diversas fases lunares.

§ 7. Luz cenicienta. Poco después del novilunio se ve una luz débil que permite ver el contorno del disco lunar, que no se muestra brillante.

Esta es la luz cenicienta. Se la atribuye a la luz del Sol, reflejada por la Luna a la Tierra, i por ésta a su vez hacia ella.

§ 8. Salida i puesta de la Luna. Cuando la Luna está en conjunción sale i se pone con el Sol. No se la ve: la Luna está perdida. Así suele decirse.

En el primer cuarto, cuando la Luna sale, el Sol está en el meridiano: son las doce del día.

En la oposición, la Luna sale i el Sol se pone.

En el último cuarto, cuando la Luna sale, el Sol está en el meridiano inferior: son las doce de la noche.

Como la Luna recorre **13º** por día en Ascensión Recta, su salida se atrasa diariamente unos **50 minutos**.

§ 9. Nodos de la Luna. Llámanse nodos de la Luna, los puntos en que la órbita lunar corta al plano de la Eclíptica. Se les llama también, como en el caso de los planetas, **as-cendente i descendente**. Se les define igualmente.

Los nodos de la Luna retrogradan. Es un fenómeno mui parecido al de la precesión de los equinoxios; pero es más rápido. Un nodo da la vuelta a la Eclíptica en **18 $\frac{2}{3}$ años**.

§ 10. Libraciones. Asimilando la órbita lunar a una elipse, su movimiento alrededor de la Tierra no es uniforme. Es mayor en el **perijeo** i mínimo en el **apojee**. En cambio, el movimiento de rotación es uniforme. De aquí resulta que en el curso de una revolución, ciertas partes de su disco parecen oscilar a ambos lados del radio sector que va desde la Tierra al centro lunar.

Este fenómeno es conocido con el nombre de li-

bración. Es una especie de balanceo. Se le designa con el nombre de libración en **longitud**.

También existe la libración en **latitud**, que depende de la inclinación del eje de la Luna sobre el plano de la Eclíptica.

Ambas libraciones permiten ver mayor parte del globo lunar, que los que en realidad debieran verse.

Por las libraciones solo las $\frac{2}{7}$ partes del globo lunar quedan invisibles.

Lagrange fué el primero que esplicó las libraciones de la Luna, relacionándolas con la gravitación universal.

VIII.

ECLIPSES.—MAREAS.

*13 - Montevideo 1934
Nov.*

★ § 1. ¿Cuándo hai eclipses? Los eclipses son de dos clases: de Sol i de Luna.

Hai eclipse de Sol, cuando la Luna se interpone entre este astro i la Tierra, ocultando el disco solar total o parcialmente. Esto puede sólo verificarse en la época de la **conjunción**.

Hai eclipse de Luna, cuando la Tierra se interpone entre ella i el Sol. Esto sucede en la **oposición**.

Los eclipses pueden ser totales o parciales.

La Luna está en conjunción i en oposición una vez en cada mes. Debería, por esto, haber en cada luna-ción un eclipse de Sol i otro de Luna. Sin embargo esto no es así, porque la órbita lunar no coincide con el plano de la Eclíptica. Para que haya eclipse, se necesita que la Luna esté en el nodo o muy cerca de él. Sin esto, la Luna pasará a veces sobre el cono de sombra de la Tierra; i en otras debajo.

En el dibujo, fig. 96, se demuestra gráficamente cuál es la posición que debe tener la Luna para que haya eclipses de Sol i de Luna, i cuándo no los hai.

La órbita blanca es la de la Luna. La oscura se ha dibujado sólo para indicar la posición del plano de la Eclíptica, determinar los nodos i mostrar la inclinación de la órbita lunar sobre dicho plano.

§ 2. Eclipses de Luna. La Tierra proyecta tras de sí un cono de sombra. La

longitud de este cono es de 216 radios terrestres. Siendo el radio de la órbita lunar solo de 60 radios terrestres, podrá penetrar en dicho cono. Entonces hai eclipse. Ahora, el radio de la sección del cono de sombra, en el punto en que nuestro satélite puede cortarlo, es de $\frac{15\frac{1}{2}}{216}$ del radio terrestre, mayor que $\frac{3}{11}$, que es el radio del globo lunar. Luego la Luna puede penetrar totalmente en el cono de sombra: el eclipse es total. Pero puede suceder que solo una parte de la Luna penetre en la sombra. Entonces el eclipse es parcial.

Cuando la Luna está eclipsada, no pierde su brillo bruscamente, sino que disminuye poco a poco. Débese esto a que la Luna penetra primero en la pe-

numbra, que es más densa mientras más se aproxima a la sombra. Por esto no es posible indicar con precisión el momento exacto en que comienza un eclipse.

Al atravesar los rayos solares la atmósfera, se refractan, i el cono de sombra de la Tierra se reduce. Por este efecto se calcula que queda reducido a unos 42 radios terrestres. De manera que la Luna, en sentido absoluto, no penetra en el verdadero cono de sombra. Su brillo por eso no cesa en absoluto, sino que se la ve de color **rojo**.

Tienen parte en el aspecto rojizo de la Luna, la mayor o menor refracción de los diversos rayos del espectro solar. Los rayos rojos son menos refranjibles. Llegan a ella con más intensidad.

Un eclipse de Luna se verifica al ponerse el Sol. Pero puede también verificarse cuando el Sol sale i la Luna se pone. El 28 de Enero de 1888 se verificó un eclipse de esta naturaleza, visible en Chile. La refracción, que levantan los astros sobre el horizonte, permite ver el eclipse.

La Luna no puede estar totalmente eclipsada más de dos horas. Pero el fenómeno puede tener una duración de 4 horas, considerando todas sus fases.

Los eclipses de Luna son visibles para todos los habitantes que la tienen sobre su horizonte.

§ 3. Eclipses de Sol. Como la Luna es menor que la Tierra, su cono de sombra es inferior a 216 radios terrestres. Se ha calculado que fluctúa entre 59,5 i 57,5 radios. En consecuencia el cono de sombra de la Luna puede o no llegar a la Tierra.

Si llega a la Tierra, los habitantes de la zona cubierta por la sombra no verán el Sol. Tienen eclipse

total, i los que están envueltos en la penumbra tiene eclipse parcial.

Puede suceder también que la Tierra, cuando no

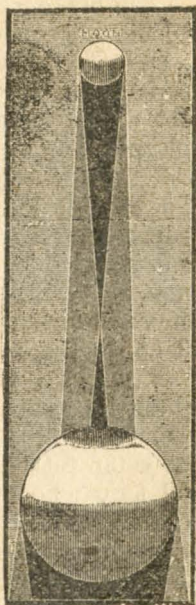


Fig. 97

es alcanzada por el cono de sombra de la Luna, lo sea por la prolongación de éste. En tal caso la Luna no cubre a todo el disco del Sol. Entonces el eclipse es **anular**. Pero lo será sólo para la zona abarcada por la prolongación del cono de sombra. Obsérvese el dibujo de la fig. 97. Los demás puntos situados en la penumbra tienen eclipse parcial.

En la fig. 98, los puntos negros representan a la Luna. La posición del centro indica el nodo. A medida que la Luna se aleja del nodo, el eclipse del Sol se hace menos intenso.

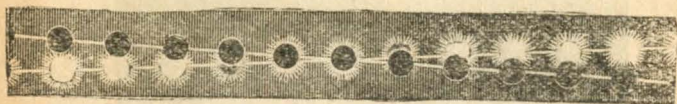


Fig. 98

Un eclipse de Sol no es visible para todos los habitantes que lo tienen sobre el horizonte. Lo es sólo para aquellos que se encuentran en las zonas que, a manera de una gran nube, va la sombra de la Luna recorriendo.

Los eclipses de Sol han dado medios para estudiar la naturaleza de la atmósfera solar.

El grabado de la fig. 99 es una fotografía del eclipse total de Sol verificado el 18 de Mayo de 1900, i tomada por el profesor Langley en Estados Unidos. Ella demuestra un grupo de protuberancias sobre el límite SO.

La figura 100 muestra la corona del Sol en el mismo eclipse, i tomada por el mismo astrónomo.

§ 4. Predicción de los eclipses. Los eclipses se repiten en el mismo orden en un período de 18 años 11 días. Este período era conocido de los antiguos, i se le designaba con el nombre de **Período de Saros**.

Los eclipses de Sol son más frecuentes que los de Luna. Sin embargo, para un mismo lugar, se ven más eclipses de Luna, puesto que éstos son visibles para todos los que la tienen sobre el horizonte.

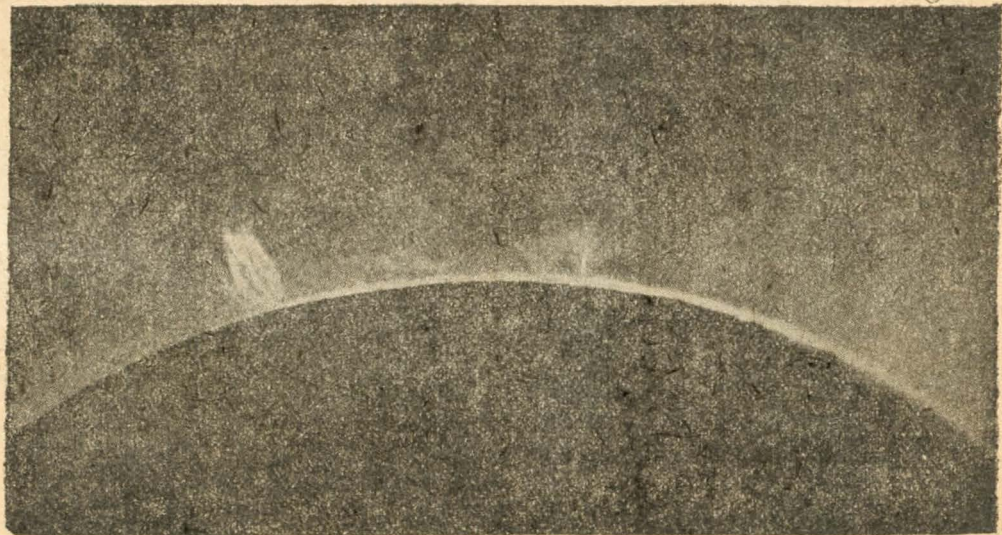


Fig. 99

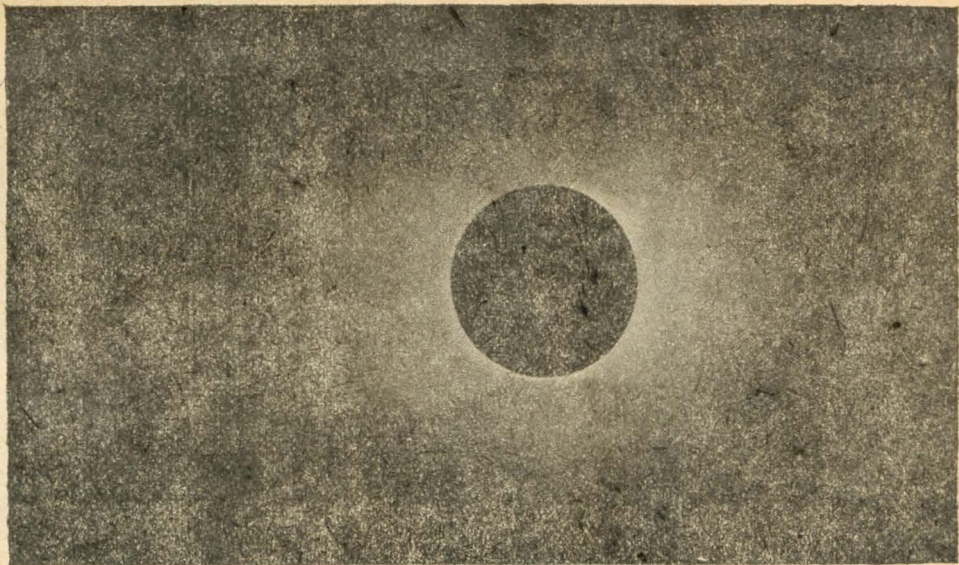


Fig. 100

En un año no puede haber más de **7** eclipses, ni menos de **2**. Cuando hai **2**, ambos son de Sol.

§ **5. Mareas.** Este fenómeno es un movimiento periódico de las aguas de los océanos, por el cual suben o bajan.

La subida de las aguas, o sea cuando el **mar está de llena**, es el **flujo**. El **reflujo** tiene lugar cuando baja el nivel.

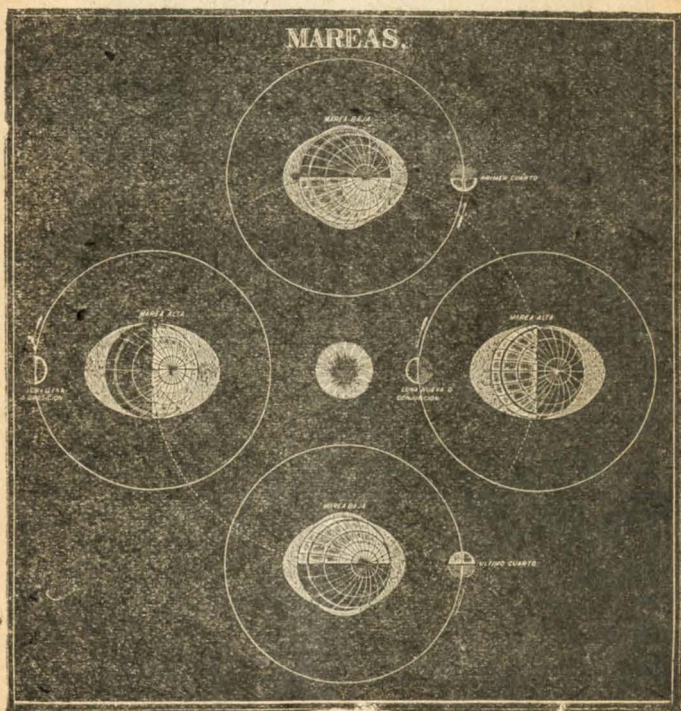


Fig. 101

El mar está de baja, cuando el nivel de las aguas es el menor.

Las mareas se deben a la atracción combinada del Sol i de la Luna. El dibujo de la fig. 101, da una idea clara de este proceso.

Las más altas mareas tienen lugar en las sicijias; i las menores en las cuadraturas.

Teóricamente, hai alta marea cuando la Luna pasa por el meridiano del lugar, i baja marea cuando la Luna está en el horizonte. Habrá otra vez alta marea cuando la Luna pase por el meridiano inferior.

Entre las dos altas mareas hai un intervalo de 12 horas 25 minutos.

Pero la alta marea no tiene lugar cuando la Luna pasa por el meridiano, sino un poco más tarde, debido a la inercia de las aguas i a otras causas.

El tiempo que transcurre entre el momento de la alta marea i el pasaje de la Luna por el meridiano se llama **Establecimiento del Puerto.**

XI.

TIEMPO.

§ 1. Medida del tiempo. El tiempo puede medirse. Para esto se usan los **relojes**.

Los primeros relojes que se usaron fueron los de agua. Se les llamó **clepsidras**. Eran un recipiente lleno de agua, con un agujero por el cual salía el líquido. El tiempo que se demoraba en vaciarse era la unidad de medida. Se usaron después relojes de arena, bajo el mismo principio. Hoy se usan relojes basados en el **isocronismo** de las oscilaciones del péndulo, descubierto por Galileo, i aplicado a los relojes por el astrónomo holandés Christian Huygens.

§ 2. El día sideral. Día sideral es el tiempo que demora la Tierra en dar una vuelta completa alrededor de su eje. Se calcula éste por el tiempo que media entre dos pasajes consecutivos de una misma estrella por el meridiano de un lugar.

El movimiento de rotación de la Tierra es tan uniforme, que investigaciones muy recientes, hechas con suma precisión, han demostrado que en un período de 2 400 años ha habido en él una variación de $\frac{1}{80}$ de segundo.

Esta uniformidad ha hecho que los astrónomos adopten el día sideral como unidad de medida para el tiempo.

El día sideral se divide en 24 horas siderales; cada hora se divide en 60 minutos siderales; i cada minuto se subdivide en 60 segundos siderales.

El día sideral comienza cuando el equinoxio de Aries pasa por el meridiano.

Luego un reloj sideral a menudo no marca la hora de un día ordinario. Indica sólo el tiempo que ha transcurrido desde que el equinoxio de Aries pasó por el meridiano.

§ 3. El día solar. Llámase día solar, el intervalo de tiempo comprendido entre dos pasajes consecutivos del centro solar por el meridiano de un lugar.

El día solar es cerca de **4 minutos** más largo que el día sideral. Esto se debe al movimiento de traslación de la Tierra. Recorre **un grado** por día, igual al que el Sol recorre en ascensión recta. Si la Tierra estuviera inmóvil en su órbita, ambos días serían de igual duración.

Se acostumbra llamar día solar al de 24 horas. I siendo el día sideral más corto que el día solar, las horas, minutos i segundos siderales son más cortos que las respectivas solares. Así, 24 horas de tiempo solar medio, son iguales a 24 horas 3 minutos 56 segundos de tiempo sideral.

De lo dicho se deduce que en 365 días solares, la Tierra hace 366 rotaciones con relación a una misma estrella. Es así cómo en un año hai un día sideral más que los días solares.

§ 4. Desigualdad de los días solares. La órbita de la Tierra no es un círculo. Es una elipse. La Tierra se mueve con más velocidad hacia el perihelio, que en su afelio, en virtud de la atracción universal. Pero como nos parece que es el Sol el que se mueve, resulta que el día solar no es uniforme.

También la oblicuidad de la Eclíptica contribuye a realizar este fenómeno. Cerca de los equinoxios, el arco que el Sol describe en la Eclíptica es mayor que el que describe en Ascensión Recta.

Inversamente, en los solsticios el arco en que en un tiempo dado recorre en la Eclíptica, es menor que el que describe en Ascensión Recta.

§ 5. Día solar medio. Los astrónomos corrijen la desigual velocidad del Sol en la Eclíptica, suponiendo un **Sol ficticio**, que recorre dicha curva con velocidad uniforme. El Sol verdadero i el Sol ficticio parten juntos del perijeo. Se adelanta el Sol verdadero i pasa primero por el equinoxio; pero llegan juntos al apojeio. Aquí se adelanta el Sol ficticio, pasa primero por el otro equinoxio i llegan juntos al perijeio.

Un segundo Sol ficticio suponen que recorre uniformemente el ecuador de los cielos, que no es una elipse, sino un círculo. Este Sol ficticio pasa por el equinoxio de Aries al mismo tiempo que el primer Sol ficticio.

Este segundo Sol ficticio se llama **Sol medio**. I como no está sometido a ninguna desigualdad, sirve para definir el tiempo medio. Así,

Es **medio día medio**, en el instante en que el Sol medio pasa por el meridiano; i

Es **día medio**, el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano.

Los relojes de uso común están arreglados con referencia al tiempo medio, ya que no es posible hacerlo con relación al día solar verdadero, a causa de sus desigualdades. De aquí resulta el día solar medio.

Día solar medio, es el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano.

§ 6. Ecuación del tiempo.

Sea la fig. 102, en que γD es el Ecuador i γS la Eclíptica.

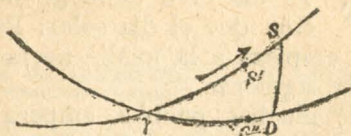


Fig. 102

Supongamos el Sol verdadero en S ; que se mueve en la Eclíptica en la dirección de la flecha. Su Ascensión Recta es γD . Puesto que el Sol verdadero pasa primero por el equinoxio de Aries que el primer Sol ficticio, supongamos a éste en S' . Como el segundo Sol ficticio parte junto del perijeo con S' recorriendo el plano del Ecuador, i ambos con velocidad uniforme, hagamos $\gamma S' = \gamma S''$. El segundo Sol ficticio está en S'' . Entonces la Ascensión Recta γD del Sol verdadero se compone de dos partes, que son: $\gamma S''$, que es la ascensión recta media, i $S'' D$. Esta es una parte **periódica**, variable, i es la diferencia entre γD i γS .

Llámase Ecuación del tiempo, la diferencia entre el tiempo verdadero i el tiempo medio.

Esta diferencia, por las razones ya dichas en otros párrafes, hai que dividirla por 15 para reducirla a tiempo.

El Sol medio puede estar atrasado o adelantado con respecto al Sol verdadero. Es decir, puede pasar por el meridiano antes o después que el Sol verdadero. De aquí que la ecuación del tiempo sea positiva o negativa. Es positiva cuando el tiempo medio está adelantado.

El valor de la Ecuación del tiempo alcanza hasta **17 minutos**. Es nula en cuatro épocas de un año: 15 de IV; 15 de VI; 1.º de IX i 24 de XII.

§ 7. Día civil. El día civil tiene la misma duración que el día solar. Pero el civil se entiende que empieza a la media noche, i termina a la media noche siguiente.

Antiguamente, muchos pueblos empezaban i terminaban el día con la salida del Sol. Entre éstos figuraban los babilonios, los persas i los asirios.

La idea de dividir el día en dos partes de **12 horas** cada una, data desde Hiparco. A él se debe este procedimiento.

Las horas se cuentan de 1 a 12, agregándoles la frase A. M. i P. M. Pero hoi se está introduciendo i jeneralizando el uso de contarlas de **1 a 24**. Así en vez de decir: son las 5 P. M., se dice: son las **17**.

§ 8. Año sidereal. Llámase año sidereal, al intervalo de una revolución completa de la Tierra alrededor del Sol. Este se mide por una estrella, tomando en cuenta el movimiento del Sol en Ascensión Recta. Por eso se dice también que año sidereal es el tiempo comprendido entre dos pasajes consecutivos del Sol por el meridiano de una misma estrella.

El año sidereal es igual a 365 días 6 horas 9 minutos 9 segundos del año solar medio.

§ 9. Año trópico. El año solar medio, o **año trópico**, es el tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos del Sol por el equinoxio de Aries. El año trópico es menor que el año sidereal. Comprende 365 días 5 horas 48 minutos 46 segundos.

Si los equinoxios no se movieran (precesión de los equinoxios), no habría diferencia entre el año sidereal i el año trópico. Pero el equinoxio retrograda $50''{,}2$ por año. De aquí por qué hai una diferencia de 20 minutos 23 segundos.

§ 10. Año anomalístico. Es el intervalo de tiempo comprendido entre dos pasajes consecutivos de la Tierra por el perihelio. I como este punto se mueve a razon de $11''{,}8$ por año, en sentido directo, se sigue que el año anomalístico es 4 minutos 39 segundos más largo que el año sidereal.

§ 11. Año civil. Este año se compone de 365 días exactos, en los años comunes, i de 366 días en los bisiestos. Con este año se regulan los negocios i transacciones comerciales.

§ 12. Año antiguo. Los antiguos fijaron el largo del año por medio del **gnomon**. En el plano horizontal del gnomon se trazaba la meridiana. Cuando la sombra del estilo vertical, en el momento de coincidir con la meridiana, era la más corta, era el **solsticio** de verano. I era el solsticio de invierno cuando la sombra del estilo adquiría su valor máximo. El tiempo que el Sol demoraba en volver al mismo solsticio determinaba la magnitud del año. Encontraron para su magnitud 365 días, 6 horas menos que el tiempo correspondiente al verdadero año solar. De esta diferencia derivó una confusión, con el correr de los años, que hubo que corregir.

Los ejipcios usaron también durante cierto tiempo el año de 360 días: 12 meses de 30 días cada uno.

§ 13. El calendario. Entiéndese por Calendario al conjunto de los diversos medios empleados para hacer coincidir el año civil con el año trópico, i fijar sus subdivisiones. Como ya se ha dicho, la duración de estas dos clases de años es diferente.

Para contar los años, se toma como punto de partida una fecha que recuerde algún hecho histórico de importancia. Casi todos los pueblos civilizados han adoptado la **Era Cristiana**, que marca el día del nacimiento de J. C.

§ 14. Calendario Juliano. Julio César fué el primero que emprendió la reforma del Calendario, para armonizar el año civil con el año trópico. Fué asesorado por **Sosígenes**, astrónomo de Alejandría.

Considerando que el año trópico dura aproximadamente $365\frac{1}{4}$ días, ordenó, el año 45 a. J. C., que cada cuatro años hubiera un año de 366 días. Se le llamó *bisiesto*. El día demás se le agregó al mes de Febrero, que cada cuatro años debe tener 29 días, en vez de 28. La reforma del Calendario por Julio César consiste entonces, principalmente, en la **creación del año bisiesto**.

Pero antes de Julio César se habían acumulado, de año en año, muchas diferencias. Para establecer la concordancia, ordenó que en el año de la reforma éste constara de **445 días**.

La reforma juliana fué adoptada por todos los pueblos civilizados, i estuvo en uso hasta fines del siglo XVI.

§ 15. Calendario Gregoriano. La reforma Juliana disminuyó el error del Calendario antiguo, que asignaba 365 días al año. Pero la diferencia de duración entre el año civil i el año trópico no desapareció por completo. Existía una diferencia de 11 minutos en favor del año civil. La acumulación de esta diferencia debía producir, después de un período más o menos largo, grandes diferencias. A fines del siglo XVI (1582) la diferencia era ya de **10 días**. De este modo el equinoxio de Aries tenía así lugar el 11 de Marzo, en vez del 21 del mismo mes.

Fué entonces cuando el **Papa Gregorio XIII**, ayudado por el sabio calabrés **Lilio**, ordenó que el día siguiente al Jueves 4 de Octubre de 1582, se llamara **Viernes 15 de Octubre de 1582**, i no Viernes 5 de Octubre. Se adelantó en 10 días. Ordenó también que cada 4 años se intercalara un día más. Todavía, para hacer desaparecer en el futuro las causas del error, dispuso que cada 400 años se suprimieran 3 años bisiestos. Para obtener esto, se estableció que los años seculares no serían bisiestos, sino cuando el milésimo del siglo fuera **divisible por 4**. Así son bisiestos los años **1600 i 2000**; pero no lo son los de **1700, 1800, 1900, 2100**. La reforma gregoriana fué aceptada por todos los países de Europa. Se ha quedado atrás la Rusia, que sigue todavía el Calendario Juliano. En sus fechas tiene un atraso de poco más o menos 13 días.

§ 16. Comienzo del año. No siempre ha comenzado el año el día primero de Enero. Esto data solo desde el año 1564. En este año Carlos IX, de Francia, decretó que el año debía empezar en dicho día. Antes comenzaba el 25 de Marzo.

Los hebreos i los ejipcios hacían comenzar el año en el equinoxio de otoño. Cuando Julio César reformó el Calendario, los romanos empezaron el año al día siguiente del solsticio de invierno (22 de Diciembre)

En tiempos de Carlomagno, el año principiaba en el día de Navidad.

§ 17. Meses del año. Se ha dicho en el § 16 que antes del edicto de Carlos IX el año empezaba en Marzo. Entonces Setiembre era el sétimo mes, Octubre el octavo, Noviembre el noveno i Diciembre el décimo. De ahí sus nombres. El año tenía 10 meses. Se cree que Enero i Febrero fueron agregados por Numa.

Los meses tienen 30 o 31 días, escepto Febrero que tiene 28; i si es bisiesto, 29. Antiguamente el día suplementario de los años bisiestos se añadía entre el 6.º i 7.º día de Febrero (bisiesto). De ahí el nombre de **bisiesto**.

Los nombres de los meses no son sino una traducción de los que los romanos les atribuían. Enero viene de **Janus**, dios de doble cara, que miraba al pasado i al porvenir. Febrero estaba consagrado al culto de los muertos. Marzo, era consagrado al dios de la guerra. Abril, indica que en este mes se abren los botones de las flores. (En el hemisferio norte). Mayo, simboliza a la diosa madre de Mercurio. Junio, recuerda a la madre de **Júpiter**. Julio, rememora a Julio César i Agosto, al emperador Augusto.

§ 18. La semana. Es un período de tiempo de 7 días. El año tiene 52 semanas, más uno o dos días.

Este período de 7 días para la semana es común a

todos los pueblos i su origen data de las épocas más remotas.

En la antigüedad, el Domingo era el día del Sol. Hoi se dedica al culto del Señor. El Lunes estaba dedicado a la Luna; el Martes, al dios Marte; el Miércoles, a Mercurio; el Jueves, a Júpiter; el Viernes, a Venus; el Sábado a Saturno.

CARTA CELESTE

Se incluye en esta obra una carta celeste, a fin de que los alumnos procuren familiarizarse con las principales constelaciones. Esto contribuirá a que puedan, sin grandes dificultades, fijarlas en el cielo.

En la parte superior aparece la faja ecuatorial de la Eclíptica i del Zodíaco, con los dibujos con que se acostumbra representar las constelaciones de esta zona. Estos dibujos permiten localizarlas en la faja inferior.

Supóngase que quiere encontrarse la estrella Sirio, de la constelación del Perro mayor. Esta constelación aparece en la faja superior entre los círculos horarios VI i VII. Búsquense estos números en la faja inferior i se encontrará la estrella que se desea.

Los números romanos marcan las AR, espresadas en tiempo sidéreo.

En la faja superior están también espresadas en grados.

Mediante ambos mapas, pueden determinarse las coordenadas ecuatoriales de numerosas estrellas, con bastante aproximación. Así, Régulo tiene: $AR=X$. horas siderales $=150^{\circ}$; $D=\text{cerca de } 13^{\circ} (12\frac{1}{2})$, boreal.

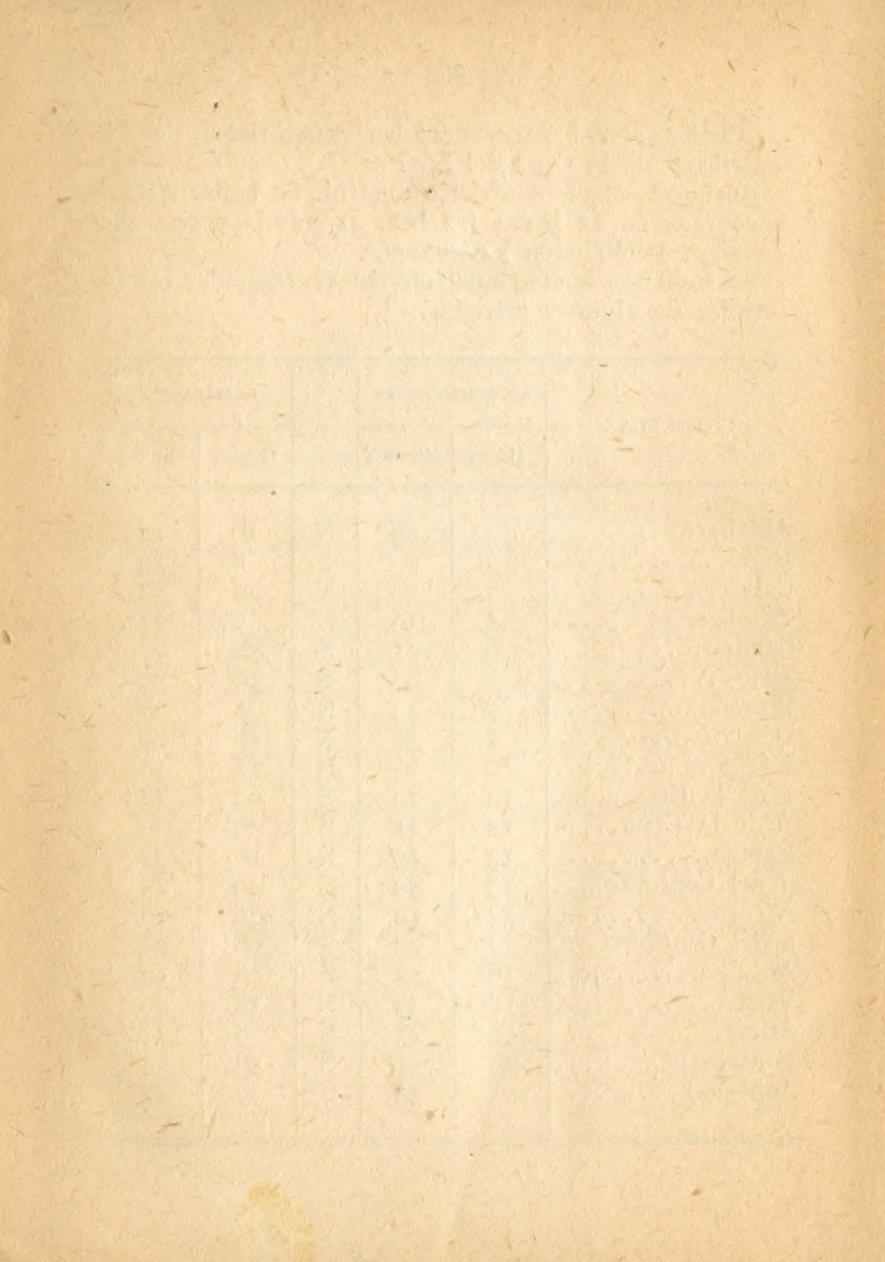
Esto mismo puede leerse en el Planisferio. Búsquese a Régulo en el hemisferio boreal, fijándose en X. La flecha superior indica el sentido del movimiento diurno. Las AR se cuentan en sentido contrario, a partir del equinoxio de Aries. Las declinaciones las dan los círculos concéntricos, que están de 10 en 10 grados. Debe contarse hacia el polo.

¿Cuáles son las coordenadas ecuatoriales de la estrella β de la Cruz del Sur?

Búsquese en el hemisferio austral. Se halla: AR = poco más de 12 horas (12 hrs. 41 min.) = poco más de 180°. Declinación ~~boreal~~ = 59°.

Se insertan a continuación las coordenadas ecuatoriales de algunas estrellas.

ESTRELLAS	ASCENSIÓN RECTA			DECLINACIÓN	
	Horas	Minutos		Grados	Minutos
Aldebarán.....	4	29	N	16	17
Rigel.....	5	—	S	8	19
Cabra.....	5	—	N	45	52
Betegeuse.....	5	49	N	7	23
Canopo.....	6	21	S	52	37
Sirio.....	6	40	S	16	35
Proción.....	7	33	N	5	30
Pólux.....	7	38	N	28	17
Régulo.....	10	—	N	12	30
α de la Cruz.....	12	20	S	62	28
β de la Cruz.....	12	41	S	59	—
Espiga.....	13	19	S	10	34
β del Centauro.....	13	53	S	59	49
Arturo.....	14	10	N	26	10
α del Centauro.....	14	33	S	66	23
Antares.....	16	22	S	26	10
Vega.....	18	33	N	38	40
Altair.....	19	45	N	8	34
Fomalhaut.....	22	51	S	30	12
Achernar.....	1	33	S	57	47



Corríjase antes de leer!

PÁJ.	LÍNEA	SE LEE:	DEBE LEERSE:
VIII 253	II 5	Zideral Declinación boreal	Sideral Declinación aus- tral

\$ 7.50

