

RS 43

DT 4/2

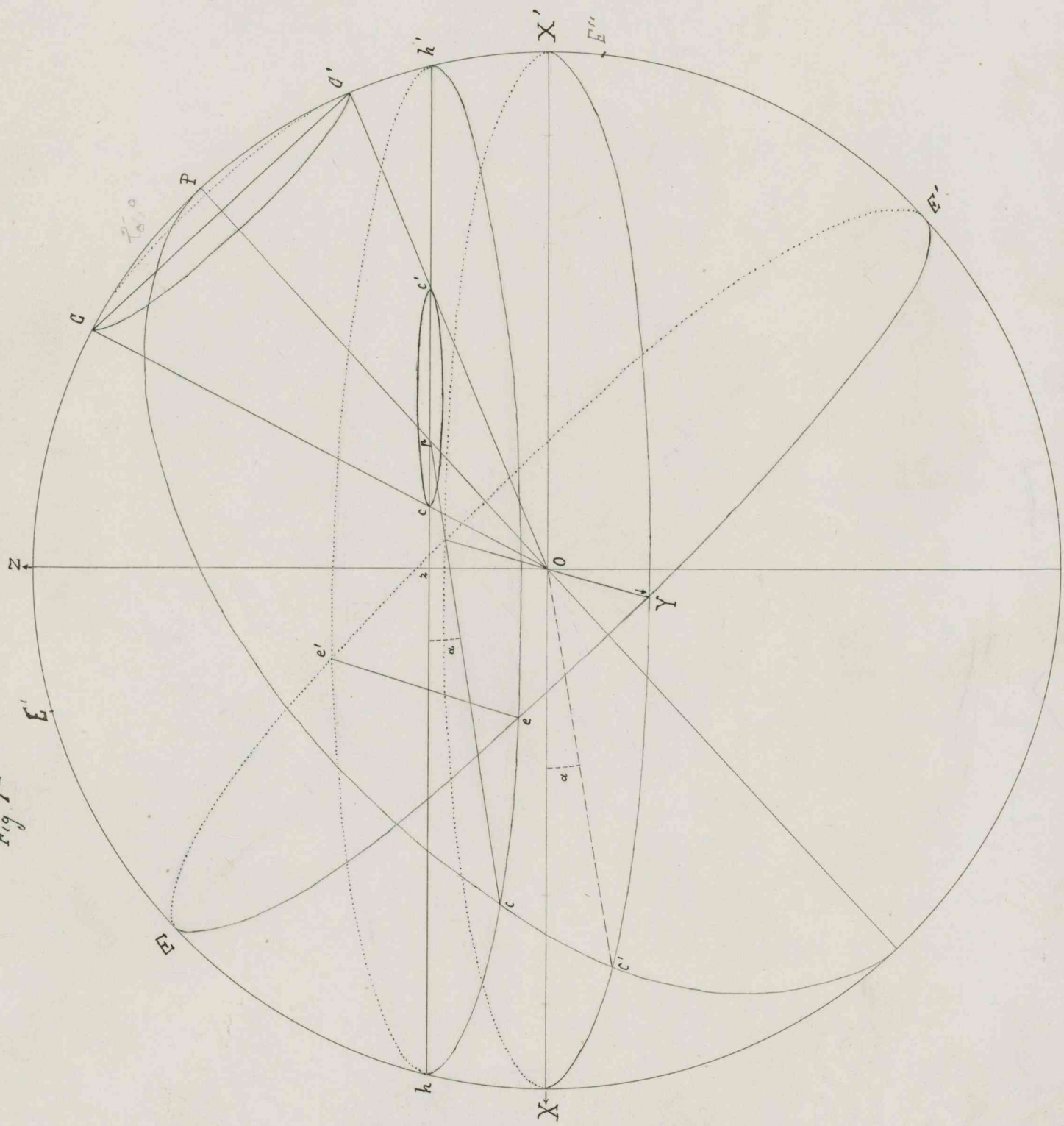
Memoria sobre la teoria y
observacion de las estrellas
fijas

1898

Memoria

presentada al Ilmo. Sr. Director del Observatorio de Madrid por el Astrónomo D. Antonio Vela y Herrero.

Fig 7^a



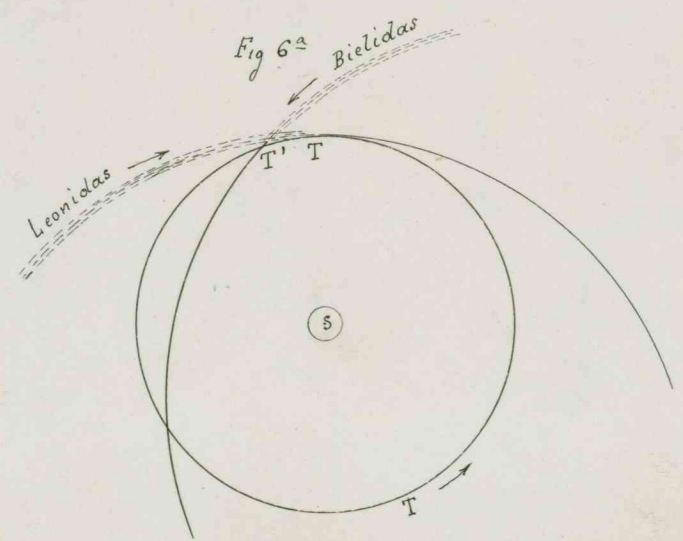
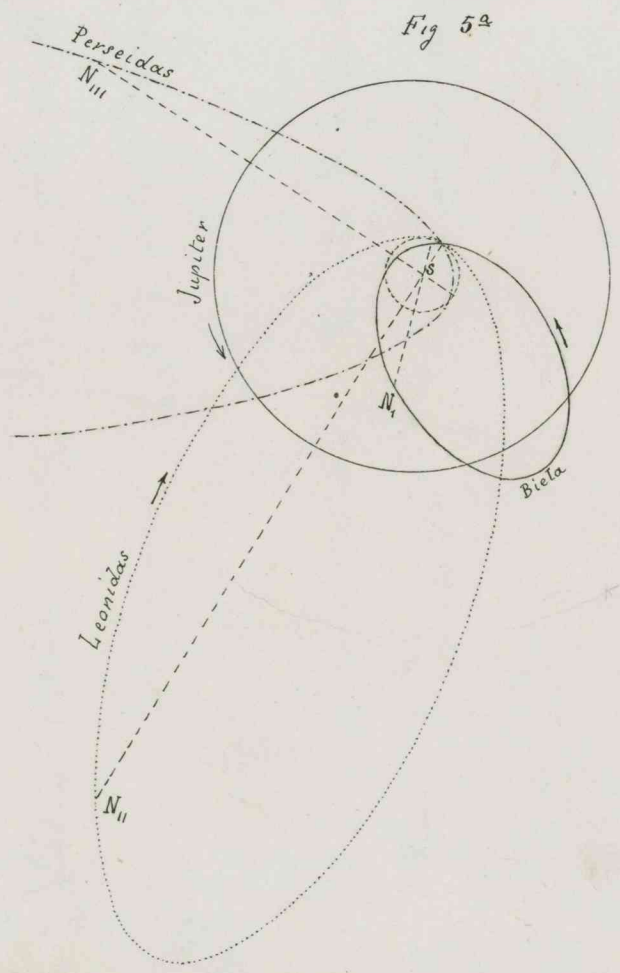
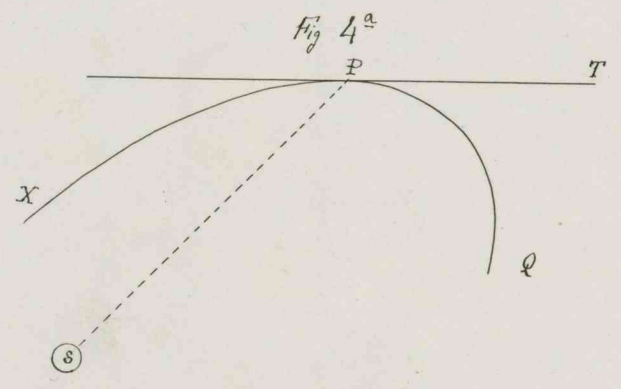
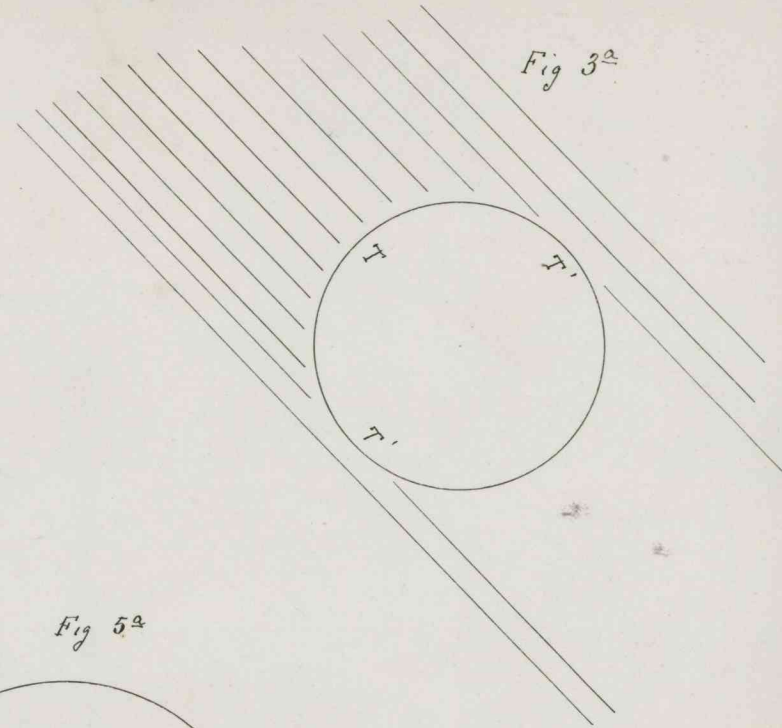
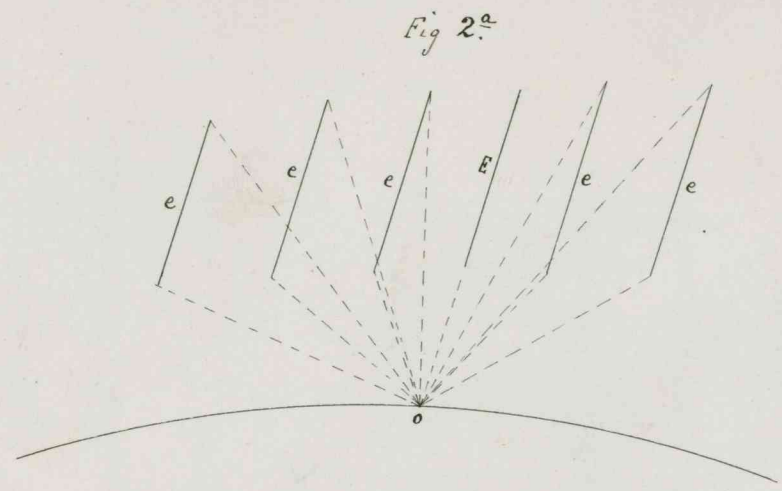
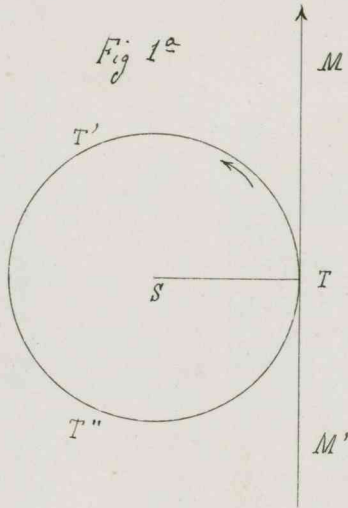
Sobre la teoría y observación de las estrellas fugaces.

I. - Introducción

- II. - El fenómeno y sus particularidades no tables -
- (1). - Definición del fenómeno
 - (2). - Distancia, longitud y velocidad
 - (3). - Número horario.
 - (4). - Periodicidad
 - (5). - Radiantes.

- III. - Origen y naturaleza de las estrellas fugaces
- (1). - Hipótesis de Olmsted y Wmann.
 - (2). - Trabajos de Newton y Schiaparelli
 - (3). - Estado actual de la teoría.

- IV. - Observación del fenómeno
- (1). - Datos que deben apreciarse
 - (2). - Cartas de trayectorias.



Sobre la teoría y observación de estrellas fugaces.

I

Introducción.

La lluvia de Leónidas esperada para el 14 de Noviembre de 1899, y las biéridas, que se presume puedan observarse en 1901, en el mismo mes, han excitado la curiosidad del mundo científico, y estimulado á los astrónomos, especialmente consagrados á este estudio, dando lugar á trabajos preparatorios, para que las próximas observaciones sean todo lo numerosas y completas que exige el actual estado de este ramo de la ciencia, si se ha de llegar á la resolución de todos ó algunos de los puntos cuestionables, referentes á la teoría astronómica de las estrellas fugaces.

A partir de la fecha en que se publicaron los trabajos de Newton de Newhaven y de Schiapparelli, clásicos en esta materia, no han cesado de aparecer en las publicaciones astronómicas trabajos aislados, resúmenes de observaciones, tablas de radiantes, y hasta hipótesis, dirigidas á suministrar explicación satisfactoria de todos los hechos observados; pero queda todavía algo de misterioso ó no explicado en forma contundente, como reclama la ciencia astronómica, y se necesitan, por consiguiente, observaciones numerosas y sistemáticas, de las cuales se deduzcan leyes, que nos lleven de

un modo riguroso al conocimiento exacto de la causa de los meteos,
y a la explicación racional de las múltiples incertidumbres que aque-
llos presentan...

Uvas es lo cierto que, en medio de tantos trabajos aislados, y de
las muchas observaciones, que ha motivado la proximidad del máxi-
mo de las Leónidas, los astrónomos de diversos países no se han puesto
de acuerdo, ni concertado un plan único, bien definido y detallado,
con arreglo al cual sería de utilidad suma observar el fenómeno
en todos los países, donde lo permitieran las circunstancias atmofé-
ricas. Alguien ha lanzado a la publicidad esta idea, sin resul-
tados prácticos hasta el día; por lo cual, y dada la proximidad
de la lluvia de estrellas de Noviembre, es de suponer que cada Ob-
servatorio siga sus propias iniciativas, y acometa los trabajos con ar-
reglo a los elementos de que disponga. Y como la observación fiel de
ciertas particularidades requiere muy escasos recursos, puesto que
basta casi con la buena voluntad y alguna paciencia y cariño al
asunto, consideramos de utilidad suma avivar el celo de los aficio-
nados, facilitándoles algunas instrucciones, pues ello podrían sumi-
nistrar un número contingente de datos, en gran parte utiliza-
bles para la resolución de problemas, sin día misterioso, y hoy a
punto de esclarecerse por completo.

La presente Memoria tiene por objeto proporcionar nociones
elementales del asunto y reglas de observación a los aficionados o poco
versados en la materia. No es nuestro ánimo desarrollar aquí la

teoría completa de las estrellas fugaces, lo cual exigiria un libro, expresamente consagrado al asunto, y otras fuerzas más acomodadas que las mías á tan magna empresa; ni cabe tampoco en los límites de esta modesta exposición hacer una reseña histórica y crítica de las fases por que ha pasado el concepto sobre esta clase de meteoros, desde que se observaron por vez primera, en tiempos muy remotos, siendo motivo de interpretaciones supersticiosas, ó constituyendo señales inequívocas de la cólera de los dioses, hasta los tiempos recientes, en que la civilización, el trabajo y el progreso de la humanidad han colocado la cuestión en el sitio que le corresponde, dentro del marco de la ciencia astronómica, íntimamente ligada con las otras teorías de esta ciencia, y muy particularmente, y de modo natural y directo con la teoría de los cometas y con las hipótesis cosmogónicas.

Aspiramos solamente á referir, en terminos claros y precisos, aunque á grandes rasgos, las fases por que ha pasado la cuestión, desde que por primera vez se observaron las estrellas fugaces con objeto científico determinado, marcando los progresos realizados hasta la fecha, y señalando los puntos dudosos ó desconocidos, á cuya interpretación ha de tender el estudio de los astrónomos del día; para deducir en consecuencia la índole de las observaciones que han de efectuarse en lo sucesivo, no muy complicadas ni difíciles en verdad, pero que requieren paciencia y fidelidad en el observador, por tratarse de fenómenos que surgen de súbito, y no dan tiempo, por su breve duración á reflexiones ni preparativos,

de ningún género.

Con la brevedad posible y sin más que hacer un extracto de lo mucho que se ha escrito sobre el particular, definiremos el fenómeno, anotando los hechos culminantes que han resultado de repetidas observaciones; haremos ver las leyes o consecuencias á que los hechos han conducido á los investigadores; las hipótesis propuestas para explicar el fenómeno y remontarse á la causa primordial que le motiva; y por último, el procedimiento que debe seguirse y reglas que han de observarse, para hacer observaciones útiles y provechosas.

II

El fenómeno y sus particularidades notables.

(1).- Definición del fenómeno.

En lenguaje vivo y llano una estrella fugaz es un punto luminoso que surge súbitamente en la bóveda celeste, corre con gran velocidad y se apaga al cabo de algunos instantes. A duración tan escasa deben sin duda alguna su nombre, llamándose hoy también meteoros cósmicos, en atención á su origen extraterrestre, generalmente admitido. Las trayectorias aparentes son en general arcos de círculo que la perspectiva nos hace ver como rectas, pero en ciertos casos, afectan formas sinuosas, análogas á los relámpagos.

Todas las noches despejadas puede verse un cierto número de

5
estrellas fugaces; seis por hora, por término medio; pero este número, llamado horario, varía mucho en distintas épocas del año, así como de unas horas a otras en una misma noche. El 10 de Agosto y el 10 de Noviembre son fechas abundantes en meteoros cósmicos, y en ciertos años el recordamiento llega al extremo de haber motivado el nombre de lluvia de estrellas, con que se ha designado el fenómeno en días excepcionales.

Podríamos citar muchos ejemplos de lluvias de estrellas fugaces: como notabilísimo, por la magnificencia del espectáculo, y por el giro que desde aquella fecha tomó la teoría de estos fenómenos, recordaremos la lluvia de 1833. Los meteoros, en la noche del 12 de Noviembre del citado año, fueron tan copiosos que dos distinguidos observadores evaluaron en 240000 el número de los percibidos, durante nueve horas en una localidad, y Alsted, describiendo el fenómeno, en los momentos del máximo, llega a afirmar que los meteoros eran casi tan frecuentes como los copos de una nevada. No ha faltado quien, dejándose llevar de su entusiasmo en épocas como la citada, ha dicho que el contar el número de estrellas fugaces en determinados momentos llega a ser tan difícil como contar las gotas de lluvia. No negaremos la exageración que puedan involucrar estos conceptos; pero hemos de recordar, de acuerdo con gran número de observadores, que no es posible apreciar en ciertas ocasiones el número exacto de meteoros; a nada conduce, por otra parte, el intento de conseguir tal exactitud: procurese siempre llegar a una apreciación tan aproximada a la verdad como razonablemente se pueda; y así

conocimiento del número relativo á diferentes horas, días, y años; con lo cual, y mediante análisis concienzudo de las circunstancias que el fenómeno presenta, hemos de llegar, en día quizá no muy lejano, á tener una explicación racional de los hechos y de sus causas, en armonía con lo que exige el estado actual de las ciencias de observación y de cálculo.

Como las estrellas fijas, dividense las fugaces en órdenes de magnitud, atendiendo á la intensidad de su brillo, y, al igual que aquellas, dejan de ser visibles á partir de una magnitud determinada; por esta razón, cuando se inspecciona el cielo con un telescopio, se percibe mayor número de estrellas fugaces que á simple vista. Pero ni la dificultad de ver ciertos meteoros de ínfima magnitud implica inconveniente alguno para la constitución de la teoría, ni es costumbre emplear anteojos astronómicos en observaciones de esta índole; aquellos instrumentos solo se han utilizado, para hacer constar la existencia de estrellas fugaces imperceptibles á simple vista, ó por mera curiosidad.

Por lo que dejamos expuesto se comprende que el fenómeno es bastante sorprendente, para haber excitado la curiosidad de nuestros antepasados, incitándolos á buscar explicación satisfactoria de los hechos. Todos los días aparecen estrellas fugaces en diversos puntos de la bóveda estrellada, recorren un trayecto mas ó menos largo, á veces cruzan de un punto á otro del horizonte, y, sin embargo nadie se fijaba en aquellas con reflexión plausible. Esto puede obedecer á que, en la antigüedad, la superstición contestaba cumplidamente á todas

2

las preguntas, y á que - *Comedia Schiapparelli* - mientras la ciencia no reposa sobre la base insustituible de la observación y la experiencia, cualquier combinación habilidosa de palabras, da razón de los más arduos problemas. Pero aunque nadie se preocupó de analizar detenidamente los hechos y averiguar sus causas, algo debe la ciencia á la observación de los antiguos: entre otras noticias y relaciones menos completas, es digna de mención especial la Gran Historia de la China, donde se encuentra copioso arsenal de datos, referentes á apariciones de estrellas en épocas remotísimas, que han servido en nuestros días para, compulsando fedras, poner en claro la periodicidad de ciertas lluvias meteoricas, y discurrir sobre la intensidad del fenómeno en diversas edades.

A la costumbre de hacer descripciones con trazo melodramático, acomodados al carácter y juicio del escritor, substituyó en los comienzos del siglo pasado la más sana y procedura de anotar el estado del cielo, presencia ó ausencia de la Luna, y, aunque muy rara vez, la dirección de los meteoros: en el Catálogo de Herrick, en las Transacciones filosóficas de Londres, y en otras publicaciones de igual índole existen muchas notas analogas á las que acabamos de indicar. Pero hasta el final del citado siglo puede decirse que la teoría de estrellas fugaces no ha tomado carta de naturaleza en la Ciencia; en la última década del siglo XVIII comenzaron las investigaciones físicas, relativas al número, velocidad, distancia, origen y demás particularidades del fenómeno.

8
(2).- Distancia, longitud y velocidad.

En 1798 Brandes y Watenberg decidieron acometer el estudio racional y metódico de los meteoros, comenzando por averiguar, con la aproximación posible, la distancia á la Tierra de los puntos de aparición y desaparición; cosa que parece raro no se hubiera ocurrido á sus antecesores, y que después repitieron los observadores de todos los países. Aunque los resultados, procedentes de observaciones aisladas, difieren mucho entre sí, se puso fuera de duda, desde los primeros intentos, que las estrellas fugaces no brillan en los espacios interplanetarios, sino en la atmósfera terrestre, á distancias que varían entre 80 y 100 kilómetros; en regiones donde el aire está sumamente enrarecido, y en donde, hasta hace poco tiempo negabase su existencia.

Observaciones simultáneas de cada meteorito, efectuadas en los extremos de una base terrestre, previamente conocida, suministran los elementos necesarios para calcular, con suficiente aproximación, la distancia de una estrella fugaz á dos puntos de la Tierra, y la altura vertical sobre nuestro globo. Para evitar errores de consideración debe procurarse que el ángulo en la estrella no sea muy agudo, para lo cual se elige una base de cierta magnitud: entre 20 y 50 kilómetros conviene que oscile la longitud del lado conocido del triángulo.

Casi al mismo tiempo que los citados observadores realizaban sus primeros ensayos, organizaba Quetelet en Bélgica una asociación, consagrada al estudio de las estrellas fugaces,

y desde aquella fecha hasta la actualidad, son innumerables los meteoros cuya distancia se ha medido, como puede verse en las estadísticas y catálogos referentes á este particular. Es de utilidad summa seguir determinando, y precisando cada vez más, la distancia de los meteoros, por haberse notado que aquella varía poco, cuando se trata de estrellas procedentes de un mismo enjambre ó masa meteórica; y esta identidad, ó poca diferencia, de distancias, cuando se observa una lluvia de estrellas fugaces, es un elemento importante para ulteriores investigaciones, relativas á las leyes que rigen los meteoros, y á sus orbitas respectivas.

Una vez conocidas las distancias de los puntos de aparición y desaparición, con relativa exactitud, puede deducirse, por cálculos sencillos, una magnitud aceptable de la trayectoria, y en consecuencia podremos llegar á la determinación aproximada de la velocidad, si medimos el tiempo del brillo ó duración de cada meteorito. Igualmente se ha venido determinando la velocidad de las estrellas fugaces por este procedimiento, desde el final del siglo anterior; y desde luego se editó de ver que tal velocidad es superior á las que podemos apreciar sobre nuestro planeta.

Pero de los dos elementos que influyen y determinan su valor, aun cuando uno de ellos, la longitud de la trayectoria, deducida de las distancias de los extremos de la ráfaga, ofrece cierto grado de seguridad, no sucede lo mismo con el otro, ó sea con el tiempo que dura la luz. Es difícil de fijar el primer momento, en que

sorbitamente aparece el punto luminoso, y de apreciación incierta también el segundo, por tratarse de una duración excesivamente pequeña. Al lado de muchos observadores que fijan en 4 ó 5 décimas de segundo la duración media de una ráfaga luminosa figuran otros que la hacen llegar á 9 décimas; diferencia que conduce á resultados completamente discordantes. Y cuando la determinación del tiempo mereciese una confianza, que está muy lejos de inspirar, la deducción de la velocidad seguiría ofreciendo dificultades, en razón á que la resistencia del aire modifica profundamente la velocidad del meteorito, sin ley alguna de proporcionalidad conocida y fácil de expresar analíticamente.

Si de suponer que el cálculo de velocidad de meteoros se ha verificado con gran frecuencia, pero la mayor parte de los resultados, por su discordancia, habrían merecido poco crédito y no han tenido publicidad. Entre los ejemplos que podríamos citar; mencionaremos solamente seis estrellas fugaces, observadas, con todo género de precauciones, por cuatro personas competentes y adiestradas, situadas dos en Paris y dos en Orleans. Dedujese para velocidad media en el momento de la observación un número de kilómetros, que varia desde 22 hasta 113, y comparando las velocidades y distancias medias, resulta, como era de esperarse, que es tanto mayor la velocidad cuanto mayor es la distancia á que se ha observado. Aun cuando no haya proporcionalidad ni correspondencia exacta, consignamos á continuación los resultados obtenidos.

Distancia en Km.	31	35	36	37	83	119
Velocidad en Km.	25	30	22	22	84	113

11

Alex. Herschel ha tratado de perfeccionar los procedimientos de observación de la velocidad, ideando un clapsidno, que mide el tiempo por la cantidad de agua, que sale de un finitimo tubo graduado, el cual comienza à funcionar al tocarlo con el dedo en el momento de la aparición de un meteorito.

Hoy dia se emplean fórmulas acomodadas à las modernas hipótesis, en las cuales se relaciona la velocidad de los meteoros con la de la Tierra y con el número de estrellas percibidas; y se ha llegado à obtener resultados bastante acordes, aunque no merecedores de absoluta confianza.

(3).- Número horario

Hechos definidos con el nombre de horario el número de meteoros visibles por hora en un lugar determinado. Este número, aun prescindiendo de que en ciertas épocas rebasa exageradamente su valor medio, ofrece variaciones regulares que, anotadas fielmente, y sometidas à detenido análisis, suministraron valiosos elementos de progreso à la teoría de los meteoros. Desde que comenzaron las observaciones de caracter científico, pudieron ponerse en claro tres particularidades que ofrece el número horario, de un modo regular y constante.

1.^a El número horario es mayor al final que al principio de la noche: variación diurna.

2.^a Dicho número es mayor del 1.^o de Julio al 1.^o de Enero que en los seis meses restantes: variación anual.

3.^a Se perciben mas meteoros en un tiempo dado al Z. que

al 0: variación azimutal.

Aplicame estas tres variaciones regulares, admitiendo que las estrellas fugaces se dirigen à la Tierra indistintamente de todas las direcciones del espacio, y con una velocidad igual à la velocidad media de las mismas. llamemos V esta velocidad, y sea \odot el Sol y \oplus la órbita terrestre, supuesta circular. - Fig. 1.ª - Si la Tierra en un momento dado estuviera inmóvil en \oplus , veríamos el mismo número de estrellas fugaces en todas direcciones; pero, moviéndose sobre la tangente à su órbita con una velocidad v , resulta que las estrellas fugaces, que llegan en la dirección $M\oplus$, están animadas de una velocidad relativa igual à $V+v$, en tanto que esta velocidad será solamente $V-v$ para las que vienen en la dirección opuesta $M'\oplus$. Luego, si designamos por n y n' los números de ambos grupos de meteoros tendremos la proporción

$$\frac{n}{n'} = \frac{V+v}{V-v}$$

Los números correspondientes à direcciones intermedias serán intermedios entre n y n' , y la dirección $\oplus M$ corresponde al máximo.

El punto en que la recta $\oplus M$ prolongada encuentra à la esfera celeste se llama apex de los meteoricos. Este punto notable, de donde provienen más estrellas fugaces que de ningun otro del cielo, se encuentra sobre la eclíptica, 90° al occidente del Sol verdadero, y describe aparentemente la eclíptica, en el plano de un año, pero llevando siempre los 90° de retraso. Las mismas sencillas consideraciones que explican porqué el Sol real nos envía más luz y más calor, desde el equinoccio de primavera al de otoño que en los otros seis meses, demuestran

también, habido en cuenta el retraso de 90° en la órbita, porque el sol meteorico ha de emitir más estrellas fugaces, desde el solsticio de verano al de invierno que en el resto del año. Así se explica la variación anual del número horario.

Si se tiene en cuenta que el sol meteorico participa del movimiento diurno, adelantando seis horas sobre el sol calórico, es decir, pasando por el meridiano superior a las seis de la mañana, y por el inferior a las seis de la tarde, se comprenderá la variación diurna, puesto que, en general, solo podemos ver meteoros entre las seis de la tarde y las seis de la mañana, periodo durante el cual el apex pasa del meridiano inferior al superior, y ha de ser más abundante, por consecuencia, en meteoros la última que la primera parte de la noche.

Asimismo queda explicada la variación azimutal, porque, en las horas a que es posible percibir meteoros, el apex está siempre al oriente del observador.

Buscando datos en que apoyarse para llegar al descubrimiento del origen y naturaleza del fenómeno, Quetelet, al fundar la Asociación de Bruselas, recomendó que se contase con el mayor cuidado el número de meteoros, en cada localidad y época del año; y no se equivocó por cierto en sus esperanzas, pues la comparación de observaciones numerosas, puso de manifiesto, en términos que no dejaban lugar a duda, las tres clases de fluctuaciones que acabamos de indicar. Reflexionando un poco sobre la sencilla explicación que hemos dado, acerca de las variaciones anual, diurna y azimutal, se comprenderá

que no podrian explicarse, si se admitiese que la materia, que origina los meteoros, residiese en la atmosfera, y participara, en consecuencia de los movimientos de esta. De donde se deduce el origen cosmico de las estrellas fugaces, opuesto à las creencias de observadores antiguos, pero muy en armonia con los descubrimientos posteriores, relativos à la velocidad, origen y causa de la inflamacion.

(4).- Periodicidad

Consagrados de lleno muchos astrónomos ilustres à hacer acopio de datos, relativos à las estrellas fugaces, sin dejar escapar detalle alguno apreciable, echaron pronto de ver, ademas de las variaciones indicadas en el artículo anterior, otra particularidad mas notable, que habia de proyectar mucha luz sobre el problema obscuro y misterioso, que se trataba de resolver, y dar la pauta que condujese al descubrimiento de las orbitas de masas meteoricas, procedencia de estas, y analogia con otros astros. Tratase de la periodicidad. Los fines del siglo pasado ya fijaron su atencion en la vuelta i repetición de ciertos meteoros, designando à ciertas nodos del año con el nombre de extraordinarias, y pretendiendo explicar las lluvias meteoricas y la renovacion de las mismas, mediante hipotesis capridoras, à veces en completa contradicción unas con otras.

Acazo el periodo anual mas antiguamente conocido sea el de las perseidas, correspondientes al 10 de Agosto. Forster cita un manuscrito, compuesto por un monje del siglo pasado, en que la citada fecha esta acompañada de la inscripção meteorades; entre los católicos de Irlanda

se conserva una antigua tradicion, segun la cual las estrellas fugaces del 10 de Agosto son el simbolo de las lagrimas de San Lorenzo, cuya fiesta coincide con el fenomeno; y en Tercalia dicen que la fiesta de la Transfiguracion, 6 de Agosto, se rasga el cielo y aparecen candelas encendidas.

Pero, prescindiendo de cronicas y tradiciones de esta especie, es cierto que existen, desde los primeros años del siglo actual, observaciones bastante precisas y repetidas de las estrellas del 10 de Agosto ó perseidas, de las del 13 de Noviembre ó leónidas, y de las androméidas ó del 24 de Noviembre; y posteriormente, á medida que se ha concedido más importancia al estudio de esta rama de la ciencia, se han ido descubriendo gran número de días en que el fenomeno se repite anualmente, aunque no con la intensidad que en las fechas antes citadas, pero siempre en forma que no permite dudar de la periodicidad anual de su aparición.

Aparte de este periodo, el efluio de las leónidas ofrece la particularidad notabilísima de que cada 33 años proxiamamente se ostenta con intensidad extraordinaria, dando lugar á las famosas lluvias de estrellas, que en épocas atrasadas han motivado la admiración y aun el terror de las gentes, y á cuyas apariciones, singularmente á las de este siglo, y á la última del pasado, se debe en gran parte el interés con que se ha procedido al estudio metódico del asunto. Olbers profetizó la famosa lluvia de 1866, fundado en consideraciones teóricas y en las observaciones de 1799 y 1833. Retrocediendo por periodos de 33, 25 años, y teniendo en cuenta los catálogos, anales y tradiciones de varios países, llegó Newton de Nerboaven á la famosa lluvia de 902, consignada en varias crónicas importantes de Europa.

Muy curioso es tambien el periodo de las biclidas. Weiss y d'Arrest pronosticaron las lluvias de 1872 y 1875; el anuncio fue plenamente confirmado, y posteriormente, en 1892, se repitió el fenómeno, previamente calculado por Berberik, teniendo en cuenta la influencia del planeta Júpiter en la retrogradación del nodo de la órbita meteorica.

En cuanto à las pericidas, si bien ofrecen algunas fluctuaciones de unos años à otros, ni las diferencias son considerables, en razon acaso, como opina Mr. Denning, à la gran difusión de la materia que las origina, ni se ha podido hacer constar en el fenómeno, de un modo evidente, ley alguna que regule su mayor ó menor intensidad. Orman, no obstante, admite un periodo de 108 años, lo que daría lugar à un máximo entre 1898 y 1900 en opinion de dicho señor.

Debemos hacer constar que el fenómeno de la periodicidad ha dado extraordinaria importancia à la teoria de las estrellas fugaces, sobre todo desde Schiaparelli y otros sabios de nuestros dias han probado la relacion que existe entre estas y los cometas.

La aparicion anual de ciertos meteoros y la recurrencia con que se muestran al cabo de cierto número de años, son razones poderosas en pro del origen comico de los mismos; pero hay que tener en cuenta que el retorno anual se verifica cuando la Tierra ha dado una vuelta completa alrededor del Sol, esto es, al cabo de un año sidereo, y que el periodo de un cierto número de años, que media entre dos lluvias de estrellas, puede muy bien ser el tiempo empleado por una masa meteorica para describir su órbita en torno del Sol. Consideraciones que dan cuenta del fenómeno de

la periodicidad, imposible de explicar satisfactoriamente, si se consideran las estrellas fugaces como nacidas en nuestra propia atmosfera, y no como cuerpos extraterrestres, que llegan à ella, animados de gran velocidad, y se encienden y reducen à tenuis vapores.

(3) Radiantes.

Atacada la cuestion de las estrellas fugaces, en la primera mitad del presente siglo, bajo un punto de vista altamente cientifico, era de esperar que la Naturaleza suministrase datos, cada vez más numerosos y elocuentes, para llegar al descubrimiento de la verdad; y, en efecto, una vez establecida la periodicidad del fenomeno, se descubre la existencia del radiante; hecho de importancia indiscutible para el rápido progreso de la cuestion. En las grandes lluvias de estrellas, la mayor parte de las trayectorias parecen emanar de un punto unico, ó, mejor dicho, de un restringido espacio de la bóveda celeste, à partir del cual irradian en todas direcciones. No escapó este hecho à la sagacidad de Olmsted, que tuvo ocasion de observar la famosa lluvia de estrellas fugaces de 12 de Noviembre de 1833. Presintió el sabio observador americano la transcendental importancia de este singular fenomeno, y designó con el nombre de radiante al punto de la esfera estrellada, del cual parece que emergen la mayor parte de los meteoros en épocas determinadas.

El punto ó region limitada del cielo, designado con aquel nombre, acompaña à la esfera celeste en su movimiento diurno, en lo cual vio el mismo Olmsted y otros astrónomos de un época una nueva demostracion del origen extra-telúrico

de las estrellas fugaces; porque, como dice Schiapparelli, si se admite, como pretendían los antiguos, la existencia de un centro de actividad meteorica en el seno de nuestra atmósfera, pueden ocurrir dos casos: ó dicho centro es fijo, y debe, en consecuencia, ocupar siempre la misma posición respecto al horizonte del observador, lo cual hace inexplicable el movimiento diurno, puesto fuera de duda en los radiantes; ó goza, como las nubes y demás meteoros atmosféricos, de un movimiento variado, irregular é inconstante, imposible de poner de acuerdo con la rotación matemática de los radiantes, peculiar de este y de los demás fenómenos astronómicos.

Y, además de las pruebas aducidas, para probar el origen cósmico de las estrellas fugaces, y tal vez sobre todas ellas, existe el hecho irreversable de que observadores, colocados á centenares y miles de kilómetros, durante una lluvia meteorica, ven las estrellas emanar de la misma región ó del mismo punto del cielo, lo cual excluye de un modo terminante y absoluto la hipótesis del origen atmosférico. Esta identidad solo puede explicarse, admitiendo el paralelismo en las líneas correspondientes á las ráfagas de una lluvia meteorica. Estas líneas paralelas dan lugar al fenómeno de la radiación por sencillas razones de perspectiva: sea AB una porción de la superficie terrestre, O la posición del observador y e, e, \dots las direcciones de las estrellas. El observador verá como un punto luminoso las estrellas fugaces, que lleguen en la dirección e , y bajo ángulo, cada vez mayor, á medida que más se aparten de e , las posiciones iguales de las otras trayectorias. Fig. 2.^a - El fenómeno parecerá proceder de un punto único del cielo, en el cual convergen las ráfagas ó líneas de ventis por los meteoros, concurrentes en la dirección común de las trayectorias dibujadas.

Vemos pues que, aporrajándose en los hechos observados, y discurriendo lógicamente, se ha podido llegar, de un modo natural y sencillo, á poner de manifiesto que las estrellas fugaces proceden de infinidad de corpúsculos, que llegan á la Tierra del espacio planetario, en direcciones paralelas entre sí. Estos corpúsculos son mas numerosos ó densos en determinadas regiones del espacio celeste, y producen las lluvias de estrellas, cuando nuestro globo, en su revolución anual en torno del Sol, atraviesa una nube meteórica. Las porciones de esta, que invaden nuestra atmosfera, se inflaman y dispersan, dejando de existir como cuerpos etéricos independientes.

Una misma lluvia meteórica puede caer con distintas inclinaciones respecto al horizonte del observador: inspeccionando la fig.^a 3.^a se comprende que el observador colocado en $\frac{4}{2}$ verá llegar los meteoros perpendicularmente, y desaparecer despues de un brillo casi instantáneo; en tanto que desde $\frac{4}{1}$ los observadores verán los meteoros atravesar la atmosfera casi horizontalmente; estos meteoros, penetrando con direcciones muy oblicuas en los estratos superiores de nuestra envoltura gaseosa, sumamente tenuis y enrarecido, pueden, antes de disociarse y extinguirse, recorrer una larga trayectoria. De ambos casos ofrecen notable ejemplo respectivamente las famosas lluvias de estrellas de 27 de Noviembre de 1872 y de 14 del mismo mes del año 1866.

Tambien se ha evidenciado por repetidas observaciones que los meteoros, que se repiten periodicamente en épocas determinadas, emanan aproximadamente del mismo punto del cielo, y conservan posición fija con respecto á las estrellas; cualidad que constituye un signo característico del radiante, útil para distinguir el retorno de una lluvia meteórica, y no confundirla con otras que pudieran surgir en

la misma época.

Cuando Olmitid y sus contemporáneos estudiaron algunos radiantes, de importancia excepcional y de periodicidad bien determinada, no se cuidaron de extender este análisis á las múltiples estrellas que, en cualquier época del año, aparecen en abundancia, fecha conocida ni procedencia determinada. Claro es que toda la atención se concentró en las masas meteoricas, que producian apariciones regulares en ciertos dias del año, y tenian un máximo de intensidad y una dirección conocida; puesto que estos enjambres podian suministrar valiosos elementos para constituir una teoría, á la que poco ó nada podia aportar la observación aislada y casual de alguna que otra estrella, de las que pueden verse en cualquier noche despejada. Creyere hasta 1860 que tales meteoros procedian de corpúsculos errantes por el espacio sin norma alguna, que encontraban á la Tierra por pura casualidad, y de aqui la division de las estrellas fugaces en sistematicas y esporádicas; siendo las primeras las periódicas, y las segundas aquellas en que no podia vislumbrarse ley alguna que regulase su dirección ó su retorno. Pero hoy dia se ha demostrado que no existe tal diferencia, ó al menos no puede admitirse, de un modo absoluto, dada la altura á que ha llegado la teoría; solo se admite y comprueba una diferencia enorme en la intensidad del fenómeno. El número, cada vez mayor, de radiantes comprobados autoriza la logica inducción de que las leyes relativas al origen, movimiento y causas del encuentro de los meteoros con la atmosfera terrestre, no pueden variar de unas á otras estrellas, porque la masa que las produce sea mas ó menos intensa.

Tratando de encontrar origen y leyes comunes á todas las estrellas fugaces, hanse cruzado muchos astrónomos, desde 1830 hasta la fecha, á la determinación

21

de radiantes. Los más notables son: el 1.º, señalado por Olmsted, próximo al punto de intersección de las diagonales del cuadrilátero $\epsilon\gamma\delta\chi$ de la constelación del León, lo que motivó el nombre de leonidas con que se distinguen las estrellas fugaces del 14 de Noviembre; el del 10 de Agosto, procedente de un punto próximo a la estrella π de Perseo, origen de las perseidas; y el de las biclidas, llamadas también androméidas, porque emanan de la estrella γ de Andrómeda.

Heiss concibió el primero la idea de clasificar todas las estrellas fugaces en sistemas, fijando un cierto número de radiantes para cada época del año; y en 1864 publicó su primera lista ó catálogo, fruto de once años de observación. A nada conduce citar las estadísticas que se han hecho con anterioridad: baste decir que hoy día muchos almanacs y revistas astronómicas consignan numerosas listas de radiantes, mereciendo especial mención, entre todas ellas, las formadas por Denning, que es acaso, entre los modernos, el que con más decisión y éxito se ha consagrado al estudio de esta maravillosa rama de la ciencia.

Origen y naturaleza de las estrellas fugaces.

(1).— Hipótesis de Olmsted y de Erman.

Así como hemos prescindido de hacer una reseña histórica de las observaciones de estrellas fugaces, que hubiéramos podido formar, consultando multitud de crónicas y libros consagrados á esta materia, prescindiremos también de enumerar la multitud de hipótesis, con que se ha pretendido dar explicación cumplida del asunto. Desde los tiempos más remotos, en que se consideraba á estos meteoros como presagios de males próximos, ó fenómenos sobrenaturales, hasta la época actual, en que, para explicar aquellos, se han puesto en juego todos los recursos de la ciencia, y todos los esfuerzos de talentos esclarecidos, hay hipótesis para todos los gustos. Se ha considerado á las estrellas fugaces como fenómenos atmosféricos, como erupciones del Sol, de la Tierra, de los planetas y de la Luna; se ha relacionado el fenómeno con las auroras boreales y con el magnetismo terrestre, y hasta, en 1867, cuando todos los astrónomos se inclinaban al origen cósmico de los meteoros, el infatigable observador Couvier-Gravier insiste en su teoría del origen atmosférico, y establece nada menos que un sistema de predicción del tiempo, fundado en la observación de estrellas fugaces.

Las particularidades más notables que los fenómenos en cuestión presentan, y que, razonablemente explicadas, han dado verdadero impulso á la teoría, fueron en un principio motivo de juicios extraviados, y contribuyeron á difundir la hipótesis del origen atmosférico. Ya hemos visto que las variaciones anual, diurna y azimutal se explican fácilmente, teniendo en cuenta los movimientos

de la Tierra y la situación del apex ó sol meteorico; pero los primeros observadores
 veían en estos cambios cualidades que no se avenían con el carácter de los fenó-
 menos astronómicos, y se resistían á admitir que un meteoro cósmico estuviese
 en relación con la hora, el año, las estaciones y el azimut de cada localidad.

Como no existía una teoría formada é incontestable, el noble afán de sa-
 ber obligaba á los hombres de ciencia á discurrir por todos los caminos, en busca de
 solución. Humboldt se preguntaba en el Cosmos si, por razones desconocidas, las
 primeras horas de la mañana serían especialmente propicias para la inflamación
 de meteoros. Laplace, partidario un día de la teoría cósmica, la abandonó, al
 no encontrar explicación satisfactoria de los hechos observados, y, en 1801, emitió
 la hipótesis de que "encima de nuestra atmósfera, frecuentemente agitada por
 corrientes más ó menos impetuosas, hay una segunda atmósfera en equilibrio, man-
 tenida de las estrellas fugaces y de las auroras boreales, entre las cuales existe íntima
 conexión." Pretendía el insignie físico encontrar por este medio una explicación
 de los hechos que con tanto cariño estudiaba; pero no debió quedar muy sa-
 tisfecho de su nueva hipótesis, cuando poco tiempo después se lamentaba del es-
 caso conocimiento que tenemos del aire que nos rodea, altura y ley del decreci-
 miento de la densidad del mismo, circunstancias que, á su entender, imposi-
 bilitaban el conocimiento del verdadero origen de los meteoros.

Antes de enumerar las hipótesis más salientes que, desde 1800 hasta la fe-
 dia, han conducido al estado actual de la cuestión, debemos consignar que
 Chladni emitió, como probables, ideas, que se han visto plenamente confir-
 madas, y que por sus trabajos, tanto coleccionando y analizando esempulsa-
 mente observaciones antiguas, como por sus observaciones propias, merece ser

considerado como el verdadero precursor y organizador de esta rama de la ciencia. Partidario del origen común, afirmó en 1819 que las estrellas fugaces pueden tener relación con los cometas; hizo notar la diferencia que existe entre aquellas y los bólidos, en cuanto á la materia constitutiva de unos y otras, y respecto á la distancia de su respectiva aparición; dijo que estrellas fugaces y bólidos procedían del espacio estelar, en el cual existe una cantidad innumerable de pequeñas masas, procedentes de la materia primitiva, engendradora de los grandes astros, y admite la probabilidad de que dichas pequeñas masas procedan á veces de la destrucción de un astro antiguo. Estas consideraciones, y otras muchas, que podríamos entresacar de los trabajos del sagaz observador, son causa de la admiración de los modernos, pues en realidad nada más se podía hacer con los datos de que Chladni disponía, y la mayor parte de sus afirmaciones se acomodan á lo que hoy está demostrado ó generalmente admitido.

Hechos visto que, desde la época en que Branden y Opatenberg comenzaron las observaciones sistemáticas, pudieron ponerse en claro varios hechos, relativos á la altura, distancia, velocidad y dirección de las estrellas fugaces. Estos hechos, y las leyes del retorno ó periodicidad de ciertos ejambres meteoricos, quedaban pues establecidos con la fuerza que da la observación, en muchas localidades y épocas efectuadas, y constituirían la base sobre que debía descansar la teoría completa de los meteoros. Faltaba remontarse á las causas: averiguar el origen, determinar las leyes del movimiento, elementos de las órbitas, y consecuencias que de estos conocimientos se derivarían. No fue posible llegar á tanto, es decir, completar esta rama de la ciencia, de un modo directo, ó sea como lógica y directa consecuencia de los hechos observados. Y, en consecuencia,

sin dejarse llevar de ilusiones, y partiendo de base más firme que los astrónomos anteriores, acudieron los modernos al recurso de las hipótesis. Estas debían reunir, como primera condición, la de explicar satisfactoriamente los hechos ya conocidos, y después se seguían o deducían, según se prestaban o no á dar cuenta de lo que nuevamente se apreciaba por la observación; siendo en todo caso objeto de discusiones detenidas, que siempre aportaban nueva luz, y marcaban nuevos rumbos á la nascente teoría. Siguiendo esta ruta, más ó menos directa, pero perfectamente rigurosa, se han emitido varias hipótesis, á partir de 1833, en que la lluvia de Leónidas impresionó vivamente al mundo científico.

A raíz de aquel sorprendente espectáculo emitió Olmsted su hipótesis, atribuyendo el fenómeno á una masa meteorica que gira en torno del Sol, y corta en un punto á la órbita terrestre. La vuelta simultánea á este punto, de la Tierra y de la citada masa cósmica, explica el hecho de la lluvia de estrellas y da idea de la radiación, puesto que en un momento dado la Tierra se dirige al punto del espacio, en donde se encuentra la masa meteorica, llegando á encontrarla y á producir estrellas fugaces. Como demostración de un hecho aislado, la hipótesis de Olmsted poco ó nada dejaba que desear; pero cuando se descubrió el período anual de las perseidas, después el de otros radiantés, y, por último, se supuso con todo fundamento la existencia de otros ruidos, no encontrados aún por falta de datos, ó por la poca intensidad del fenómeno, ó por las dificultades propias de este género de observaciones, la hipótesis citada perdió gran parte de su verosimilitud. Era preciso, en efecto, admitir para cada radiante una masa cósmica, girando en torno del Sol, y describiendo

en órbita precisamente en el término de un año, ó submúltiplo del año; lo cual es incomprensible, tratándose de radiantes numerosos, y pugna con los conocimientos relativos á los demás astros, que emplean tiempos distintos en sus revoluciones, aun teniendo entre sí más analogías que las que puedan existir entre la Tierra y las masas meteorícas.

Descartada la existencia de nubes cósmicas aisladas, girando alrededor del Sol, con arreglo á la hipótesis de Olmsted, concibieron los astrónomos el pensamiento de substituir aquellas masas por una materia diseminada á lo largo de la órbita recorrida por los meteoros, formando una especie de anillo, dotado de movimiento de traslación en torno del Sol. Esta hipótesis de los anillos meteorícos explica el período anual de ciertos radiantes, pues la Tierra corta al anillo todos los años, dando lugar á estrellas fugaces, de direcciones paralelas en apariencia, emergentes en realidad del punto de intersección de las respectivas órbitas, y animadas de idénticas velocidades; sin que lo dicho implique condición alguna respecto á la intensidad del fenómeno, que puede ser nulo en ciertos años, cuando la Tierra atraviese regiones del anillo, vacías ó muy escasas en materia meteoríca, y puede llegar á adquirir la intensidad de esplendente lluvia de estrellas, cuando nuestro globo encuentre en el nodo la porción más densa del citado anillo. Así se explica el retorno anual y el período de cierto número de años que ofrecen determinados radiantes, con su correspondiente máximo de meteoros, sin que sea preciso imponer restricciones al plazo de la revolución de las masas meteorícas.

Esta hipótesis de los anillos meteorícos fue desarrollada por Brnan, en una

Memoria, publicada en 1839. El ilustre profesor de Berlín trata de determinar la forma y posición de los anillos meteoricos, para lo cual se funda en el conocimiento de la posición del punto radiante entre las estrellas, y en la velocidad con que caen los meteoros sobre la Tierra. Ya hemos visto que, si bien el 1.º de este dato puede obtenerse con relativa exactitud, el segundo, en cambio, no puede, por los procedimientos usados hasta aquella fecha, obtenerse con caracteres de aproximación, que ofrezcan bastante garantía, sobre todo tratándose, como se trataba, de tomarlos à cálculos muy delicados. Por eso la hipótesis de Brman, bien que apoyada en principios incontestables, no motivo grandes resultados prácticos en la ciencia de los meteoros; su mismo autor se contentó con indagar la órbita posible de las perseidas, asignándole límites bastante vagos, que por cierto se acomodan à los calculados posteriormente con mas elementos y seguridades de acierto.

(2). - Trabajos de Newton y Schiapparelli.

Desde 1839 à 1864 la teoría astronómica de las estrellas fugaces no avanzó nada sobre el estado à que la condujo la hipótesis de los anillos meteoricos de Brman. Ni se habia llegado à determinar de un modo satisfactorio la magnitud, forma, posición y órbita de los principales radiantes, ni se tenía idea alguna respecto del papel que aquellas singulares formaciones jugaban en la gran armonía del Universo, y de las relaciones que tenían con los demás astros. Investigadores de gran nota llegaron à desesperar de que se llegase, por el camino emprendido, à adquirir nociones claras y terminantes sobre la materia, y recurrieron à nuevas hipótesis, igualmente mas extravíasadas que

la de Orman, y que no citamos, por no ofrecer apenas otro interés que el de curiosidades históricas.

Está era el estado de la cuestión cuando Newton de Newhaven dio á luz sus primeros trabajos. En 1664, después de consultar e interpretar con singular acierto las crónicas antiguas, demostró que la aparición de las leonidas se renueva periódicamente cada 33 años $7 \frac{1}{4}$; computó las fechas y las puso de acuerdo con este ciclo, considerando el año siderico en vez del tropical, para la repetición del fenómeno anual, ya que la Tierra ha de ocupar el mismo punto de su órbita, cuando el fenómeno se repite, y esta consideración explica el retraso de un día por cada setenta años, que se nota entre las descripciones antiguas y modernas, relativas al citado enfamebre. Llegó á probar que las órbitas decenitas por los meteoros son idénticas, por su naturaleza, forma y posición, á las de los cometas, y que la velocidad absoluta de las estrellas fugaces, cuando penetran en nuestra atmósfera, se aproxima mucho á la correspondiente al movimiento parabólico en torno del Sol, que está con la velocidad de la Tierra en la relación de 1,41 á 1. Newton predijo de un modo terminante la vuelta de las leonidas en la noche del 13 al 14 de Noviembre de 1666: cumplióse la predicción, impresionando notablemente á todos los espíritus que anhelaban solución al problema, y la impresión cubrió de punto, cuando al poco tiempo, en Diciembre de 1666, publicó Schiapparelli los primeros trabajos de identificación de órbitas de meteoros y cometas. Simultáneamente han trabajado los dos sabios en el mismo asunto, y es justo hacer constar que al primero se debe el haber fijado el tiempo de la revolución completa de las leonidas, y haber hecho notar, contra la opinión sustentada hasta entonces, que las órbitas

de las masas meteoricas no eran proxiamamente circulares, sino que se asemeja-
 ban à las de los cometas. Asimismo, desconfiando del valor de la velocidad,
 deducido de la medición del tiempo y de la longitud de la trayectoria, procedi-
 miento cuyos inconvenientes hemos oportunamente anotado, dió fórmulas,
 para deducir dicho importante elemento, relacionándolos con el número horario,
 y buscando, no la velocidad absoluta, sino la relativa à la de la Tierra. En
 todos estos problemas le siguió Schiapparelli, obteniendo resultados conformes
 con los de Newton y de èsto más completo y cuidadoso. En 1866 publicó una
 Memoria, demostrando la identidad de la órbita del radiante del 10 de
 Agosto y la del cometa periódico de Tuttle; habian entrado los investigadores
 en el verdadero camino, y tenian razones poderosas para sospechar que entre
 los cometas y los meteoros existian relaciones más intimas que las de una
 simple analogia en sus órbitas respectivas. En el transcurso de los años 66 y 67
 se averiguó que los principales conjuntos meteoricos recorrían la misma órbita
 que otros tantos cometas, y se pudo tambien apreciar que el paso de cometas con-
 vidos era acompañado de estrellas fugaces, procedentes de punto, situados en
 las órbitas de aquellos.

Resulta, pues, que el descubrimiento de la relación intima, que existe entre
 meteoros y cometas, corresponde al sabio director del Observatorio de Milán. En
 el Boletín Meteorológico del Colegio Romano, años 66 y 67, aparecieron las celebres
 cartas de Schiapparelli al P. Sedi, en donde el primero expone el fruto de sus in-
 vestigaciones, con la claridad y elegancia, peculiares de todos sus escritos.
 Comienza por deducir, siguiendo procedimientos análogos à los de Newton,
 que para llegar à un acuerdo entre la teoría y los hechos observado, es preciso

20
atribuir à los meteoros una velocidad poco diferente de la parabólica; lo que da lugar à órbitas muy excentricas, induciendo à suponer lógicamente que aquellos corpúsculos proceden de los espacios estelares. Schiaparelli llega à atribuir un origen común à los meteoros y cometas, afirmando que unos y otros formaban parte primitivamente de una misma masa cósmica. Explica después cómo una masa de materia sumamente tenue, situada en el espacio estelar, ha podido sufrir lentamente las consecuencias de la atracción del sol, experimentando modificaciones en su velocidad, dirección y forma. El origen de los radiantes periódicos lo encuentra Schiaparelli en la acción perturbadora de los planetas, que, actuando sobre masas más ó menos condensadas de materia cósmica, han podido obligarlas à recorrer órbitas elípticas muy excentricas; en los pasos sucesivos de esas nubes meteorícas por el perihelio, el sol y los planetas ejercerán sobre aquellas una acción disolvente, que puede ocasionar los anillos meteorícos, considerados en la hipótesis de Struve.

Establecida la hipótesis del origen común de meteoros y cometas, era preciso justificarla, y à esta necesidad acudió inmediatamente el autor de las nuevas ideas, buscando enjambres y cometas, que recorrieren la misma órbita, hecho que, en sentir del astrónomo de Milán, probaba la identidad de origen; y narra de su teoría, según se desprende del siguiente razonamiento, que extractamos de una de sus publicaciones. Sea S el sol, y P un punto cualquiera, lanzado en la dirección PS con una cierta velocidad. Fig. 4.^a En virtud de esta sola causa el cuerpo se movería indefinidamente sobre la recta PS ; pero el influjo constante del sol lo desviará de su dirección inicial en cantidades cada vez mayores, obligándole, en último término, à describir

una sección cónica, tangente á la recta PQ . Si ahora consideramos un segundo cuerpo, lanzado en el mismo punto P , con la misma velocidad y en la misma dirección que el primero, es claro que, encontrándose en las mismas circunstancias, y sometido á causas idénticas, acabará por recorrer la misma órbita, y lo mismo decimos de otro cuerpo cualquiera que se encuentre en su caso. Esto se expresa de un modo general, diciendo que si desde un punto del espacio planetario parten varios cuerpos animados de la misma velocidad y en direcciones idénticas, describirán la misma órbita en torno del Sol. Recíprocamente: Si de una región X del espacio llegan á P varios cuerpos, con velocidad y dirección idénticas, el arco PQ es común á las órbitas de todos ellos, pues sabemos que todos han de recorrer la misma curva PQ , y no es posible que varias secciones cónicas tengan común este arco, y dejen de coincidir en el resto de la curva.

Aplicando ahora estas consideraciones á los cometas y meteoros, diremos: cuando varias estrellas fugaces caen sobre la Tierra, en la misma dirección y con igual velocidad, como ocurre en las lluvias de estrellas de radiante único, estos cuerpos han recorrido, antes de invadir la atmósfera terrestre, órbitas idénticas en torno del Sol; deduciéndose de aquí que á toda lluvia de estrellas corresponde una corriente meteorica en el espacio. Si la órbita de un cometa corta á la eclíptica en un punto, y el cometa llega á él con la misma velocidad y en la misma dirección que una masa meteorica, cometa y corriente meteorica describirán la misma órbita, y existirá entre ellos una relación íntima, dependiente del modo como se han engendrado.

Este razonamiento nada deja que desear bajo el punto de vista geométrico, y es certera es tal que cada día se tienen de ella nuevos testimonios, á

medida que se multiplican las observaciones y se afina en los procedimientos. Lo que no puede quedar probado en forma tan categórica es la cuestión de origen, asunto de carácter cosmogónico, que ha sido y es objeto de constantes discusiones. Schiapparelli deducía de la identidad de órbitas la comunidad de origen, haciendo surgir meteoros y cometas de masas cósmicas primitivas; pero falta saber si nacen separadamente, ó si los meteoros proceden de los cometas, ó al contrario.

De todos modos pudo enunciar Schiapparelli de poder asegurar con certeza geométrica que ciertas corrientes meteoricas describen la misma órbita que otros tantos cometas conocidos. Ya hemos dicho que en 1866 dio á conocer la identidad de órbitas de las perseidas y del cometa de Tuttle. Peters hizo notar la coincidencia de la órbita de las leonidas y del cometa de Tempel; Weis estableció la identidad entre la órbitas de los meteoros del 20 de Abril y el cometa de 1851; y el mismo astrónomo y d'Arrest demostraron e ilustraron la identidad de los meteoros del 27 de Noviembre y el cometa de Biela, desaparecido mucho antes de la lluvia de 1892, pero cuya órbita era casi idéntica á la de estos meteoros.

Otras muchas órbitas se han calculado, partiendo, como dato, de la velocidad parabolica, del foco de la parábola, centro del Sol, del nodo de la órbita meteorica, y de la tangente en el mismo, suministrada por la dirección del radiante. Pero la escasez de meteoros, excepto en casos excepcionales, y la naturaleza de las observaciones, de muy delicadas y ocasionadas á errores, hace que no pueda establecerse en términos absolutos la identidad entre las órbitas de ciertos cometas y las de radiantes meteoricos de intensidad muy escasa. De todos modos las coincidencias comprobadas son tan docuementos que Herschell llegó á decir: "son de naturaleza tal que no dejan duda alguna respecto al origen comun de meteoros y cometas".

Por exceso de utilidad, para ilustrar cuanto acabamos de decir, copiamos parte de un dibujo de Schiaparelli - Fig. 5.^a - demostrativo de las órbitas de las masas meteoricas más importantes y de sus cometas correspondientes. I representa el Sol, y las circunferencias en las órbitas de la Tierra y de Júpiter. La elipse más pequeña representa la curva recorrida por el cometa de Biela y los meteoros de 27 de noviembre. El periodo de la revolución es 6 años y 8 meses; la inclinación de la órbita, que traspasa poco la de Júpiter es de unos 13°; la parte de la elipse, que está á la derecha de SX, debe imaginarse elevada, y la restante situada debajo del plano del dibujo; por último el sentido del movimiento en torno del Sol es el mismo que el de los planetas.

La elipse de punto representa la órbita del cometa de Tempell y la de las leonidas. El sentido del movimiento es retrógrado; el periodo 32,25 años; la órbita llega más allá de la de Urano y su inclinación de 18° próximamente. La parte de la curva, situada á la izquierda de SX, debe imaginarse elevada sobre el plano del dibujo.

La elipse de punto y trazo pertenece á las perseidas y al cometa III de 1862. Se extiende más allá del sistema planetario conocido, estando su centro entre las órbitas de Urano y Neptuno. Segun los cálculos de Opolzer el plazo de la revolución es de 121 á 122 años; su plano debe imaginarse inclinado unos 66° sobre el del dibujo, y solamente encima la parte que está á la derecha de SX. La masa meteorica debe ocupar toda ó la mayor parte de la órbita, y por eso se repite el fenómeno todos los años.

La figura 6.^a, deducida del dibujo anterior da idea clara de las lluvias de leonidas y bielidas. Todos los años, al llegar la Tierra á C, corta á la órbita de las primeras, y habría lluvia de estrellas si la masa meteorica estuviese uniformemente

repartida á lo largo de la órbita; la experiencia prueba que no es así: hay un máx-
imo cada 22 años $\frac{1}{4}$, cuando la Tierra encuentra la parte más densa de la nube meteorí-
ca; notame bastantes meteoros en los años inmediatos al máximo, y despues son muy
raros ó nulos.

Lo mismo decimos de las biélidas, haciendo notar que en estas la veloci-
dad es casi la diferencia de velocidades entre los meteoros y el planeta, en tanto
que en las primeras es aproximadamente la suma, como ya hemos dicho en otro
lugar, y como puede verse, atendiendo al sentido de las flechas de la figura.

Hemos visto como, partiendo de los hechos observados, se ha llegado á esta-
blecer leyes que rigen los movimientos de las masas ó anillos meteoricos, á determinar
los tiempos de sus revoluciones, los elementos de sus órbitas, y, en una palabra, se
ha llegado al conocimiento geométrico de la cuestión. Pero pudiendo parar en esto
la noble codicia del saber, han tratado de remontarse los sabios á la causa del
fenómeno, tratando nada menos que de explicar el origen y procejo de la forma-
ción de los meteoros.

En 1868 introdujo Weiss algunas modificaciones á la hipótesis de Schi-
apparelli. El fraccionamiento del cometa de Biela, observado en 1845, y las lluvias de
biélidas subsiguientes, autorizaban á pensar que las estrellas fugaces eran originadas
por la descomposición de cometas, y Weiss afirmó que así era en efecto, no siendo
los meteoros otra cosa que el resultado de la disgregación parcial ó total de
cometas, verificada en nuestro sistema planetario. Schiapparelli se adhirió á
estas nuevas ideas, bien que haciendo constar la posibilidad de la existencia
de estrellas fugaces, debidas exclusivamente á la acción directa del sol sobre unas
órbitas independientes. En 1873 escribia: "Las corrientes meteoricas son el

producto de la disolución de un cometa, y constan de pequenísimas partículas, que los cometas han abandonado á lo largo de su órbita, á causa de la fuerza disgregante que el Sol y los planetas ejercen sobre la tenue materia de que aquellos se componen.

Admitida por Schiapparelli la hipótesis de la disgregación de los cometas, la desarrolla de una manera magistral, en su obra titulada "Reflexiones sobre la teoría astronómica de las estrellas fugaces". Háase ver de que manera la fuerza atractiva del Sol puede convertirse en disolvente, tratándose de cuerpos de estructura granular, y de escasa cohesión en la parte que envuelve y acompaña al núcleo. Así como ciertas partes, distanciadas de este, pueden sustraerse á la atracción del mismo, constituyéndose á la larga en cuerpos independientes, que se mueven en la órbita del cometa, con ligeras modificaciones, y cuyas partes tenuis pueden separarse cada vez mas, en el transcurso del tiempo, llegando á formar un anillo meteorico, cuando algunas porciones de la materia disgregada hayan ganado una revolución sobre otras. Estas afirmaciones, que el autor demuestra teóricamente, están autorizadas por los hechos: observaciones nuevas de los dos núcleos, en que se dividió el cometa de Biela, hicieron notar entre ellos una separación cada vez mayor á lo largo de su órbita.

(3). - Estado actual de la cuestión.

La teoría de Schiapparelli, con las modificaciones de Weiss, da cuenta del fenómeno de las estrellas fugaces entera y generalmente. ¿ Pero queda aquel explicado á satisfacción en todas sus manifestaciones? ¿ Puede compararse la teoría de los meteoros á otras muchas, encerradas dentro del dominio de la Astronomía, y que dan á esta ciencia, con razón, el carácter de matemática? De ninguna manera: muchos

son los puntos que quedan todavía por dilucidar. A ilustrarlos han conagrado su talento muchos astrónomos de nuestros días, siendo imposible hacer una relación minuciosa de sus múltiples trabajos. En todos ellos hay indudablemente una base de verdad; pero hay también una parte hipotética, y, frecuentemente, algunas suposiciones fantásticas, ó exageraciones, acomodadas al punto de vista peculiar de cada escritor. El análisis matemático ha invadido esta nueva rama de la ciencia, pero es claro que las matemáticas no pueden hacer el milagro de la adivinación, ni conseguir grandes triunfos, cuando se aplican á problemas, que rebasan el campo de acción de esta y de todas las ciencias humanas.

Schiapparelli, al exponer su teoría de la disgregación, hace ver que la fuerza disolvente del sol puede llegar á ser mayor que la atracción entre las partículas meteoríticas. Y, pareciendo acaso algo aventurada esta afirmación, Charlier, primero, y Picard después, han demostrado analíticamente que, en efecto, puede tener lugar la disgregación citada, y han establecido las ecuaciones diferenciales del movimiento de un corpusculo, determinando las condiciones de las órbitas para casos particulares. Pero no puede afirmarse que todos los meteoros procedan de la disgregación de cometas y, por lo tanto, si hay estrellas fugaces ó enjambres, que no se encuentran en aquel caso, no verán con ellos otros calenlos sublimes.

Entre las órbitas de radiantes conocidos, solamente cuatro han podido identificarse con las de otros tantos cometas, de un modo incontestable. De mil cae de el número de radiantes, citados por Grog, y es bien raro que no se haya encontrados más que aquel reducido número de cometas, para amoldarlos á cuatro corrientes meteoríticas, pues, si bien algunos enjambres poco intensos tienen órbitas análogas á las de ciertos cometas, ni puede afirmarse con probabilidades de acierto que una y otra órbita

hayan coincidido alguna vez, ni fundar sobre base razonable la procedencia de los meteoros de tal ó cual cometa, por el solo hecho de una escasa diferencia entre sus orbitas, ni el cálculo de estas merece siempre confianza, por el escaso número de observaciones en que muchas veces se funda, y la poca seguridad de exactitud en los datos sobre que el cálculo descansa.

La citada multiplicidad de radiantes, aun sin admitir el correspondiente número de cometas, exige un número enorme de anillos meteoricos, más ó menos continuos, suposición demasiado fuerte, repugnante para muchos astrónomos, y puesta en duda por el *inimmediapparelli*. De aquí que no falte quien vuelva á admitir las estrellas esporádicas, es decir, las que llegan indistintamente de cualquier punto del cielo, sin relacion alguna, clara y conocida, con los demás cuerpos del Universo. Y aun para estas habría que estudiar si su número y fluctuaciones, explicadas mediante la hipótesis del sol meteorico, de que antes hemos hablado, responden á las deducciones de la teoría, calculadas para todas las latitudes de la Tierra.

La duracion de las emanaciones ofrece algunas particularidades, que han de ser objeto de detenido estudio en los años veniros: las hay de muy breve duracion, y las hay que permanecen en actividad hasta seis semanas: tiempo este demasiado largo, para empleado por la Tierra en atravesar un anillo meteorico.

Hay radiantes que sufren desviaciones evidentes, y hay otros que emiten meteoros de un punto fijo durante un mes. Y, por último, en las lluvias meteoricas más importantes se ha puesto en duda la unidad del radiante, y hasta se ha admitido la existencia de varios secundarios, que acompañan á un radiante principal.

No son estos los únicos puntos dudosos de la teoría. ¿Que relacion existe entre las estrellas fugaces y los bólidos, y entre las primarias y la luz zodiacal? Como se explican

las diferencias de velocidad, altura y orbitas observadas? Parece que con las grandes lluvias de estrellas coincide la frecuencia de bólidos de grandes dimensiones, y en cuanto á la luz radiante, cuya relación con los otros meteoros ha sido vedada por respetables autoridades, no se puede negar una coincidencia que vuelve hoy día á llamar la atención de los observadores.

Niese y Predikine han tratado en los últimos años de llenar las lagunas que ofrece la teoría, emitiendo hipótesis, cuya bondad y eficacia todavía no ha mencionado la experiencia. El primero admite la velocidad hiperbólica de los meteoros como caso general, y solamente como excepcional la elíptica y la parabólica. El segundo atribuye la causa del fenómeno á la disgregación de las colas anómalas de los cometas. Bien pudiera ocurrir que, en efecto, á la disolución de las colas cometarias sea debido el fenómeno de las estrellas fugaces, y que los bólidos nazcan de la descomposición del núcleo del cometa, facilitada por la estructura granular del mismo; cuya posibilidad demuestra la teoría, y cuya realidad prueba la experiencia con notables aunque muy escasos ejemplos.

Más aún cuando todo esto sea cierto, no es posible hoy día negar en absoluto la existencia de estrellas fugaces y bólidos, independientes de los cometas; y al pretender encontrar su origen se invade el terreno de las hipótesis cosmogónicas, saliendo del campo en que los fenómenos se demuestran, se ven y se palpan, para penetrar en el de lo meramente posible.

¿Pero quiere esto decir que, ante tamañas dificultades, hemos de renunciar á dar nuevos avances, y á seguir trabajando con empeño sobre tan maravillosa teoría? De ninguna manera: el éxito hasta hoy obtenido justifica nuevas y cada vez más entusiastas acometidas. Fuera de duda está ya la naturaleza cósmica

de los meteoros; la existencia de anillos, que giran en órbitas elípticas, en torno del Sol; el periodo de varios radiantes; los elementos de sus órbitas, y la identidad de algunas de estas con las de ciertos cometas. Y tratándose de un problema tan difícil y complejo, y aunque de antiguo conocido, hace muy poco tiempo planteado científicamente, ¿que de particular tiene que queden por resolver las dudas que hemos apuntado, y algunas otras que pudiéramos mencionar? Nuevas y numerosas observaciones suministrarán elementos de fructífero trabajo. Las ciencias auxiliares de la Astronomía han progresado mucho en el presente siglo, y los sabios de todos los países esperan preparados las futuras manifestaciones del máximo de las leonidas, para someterlas á estudio profundo y razonado. Los elementos que se manejan en las fórmulas no son siempre exactos, ni todo lo aproximados que fuera de desear; ya hemos visto los errores á que puede dar lugar la determinación de la velocidad, y la determinación del punto radiante. En la actualidad ensayase la aplicación de la fotografía á la determinación de trayectorias, y, sin desconocer las dificultades que al intentarlo han surgido, antes por el contrario, asegurando que los ensayos hechos hasta el día dejan mucho que desear, no podemos menos de esperar algún provecho del nuevo procedimiento.

Lo que seria de importancia suma es la unidad de métodos y programas para efectuar las observaciones, y el concurso del mayor número posible de observadores de todos los países. En Inglaterra y en Italia existen comités encargados de este género de trabajos; en Francia existe una sociedad análoga, fundada por Le Verrier, pero se disolvió, sin dar á luz más que una parte de sus investigaciones;

y en cuanto à España, hay que confesar con dolor, que no existen mas obser-
 vaciones sobre el particular que las del Observatorio de Madrid, y algunos lu-
 minosos artículos publicados en sus anuarios. El próximo máximo de
 las Leonidas, y las modificaciones que, à partir de 1901, han de su-
 frir las belidas, a causa de las perturbaciones que producirà sobre ellas
 el planeta Júpiter, cuya órbita atravesará en el año citado - Fig. 5^a -, son
 motivos suficientes para estimular, no solo à los astrónomos, sino à todos
 los aficionados; algo podría hacerse, poniéndose de acuerdo para la eje-
 cución de un plan, previamente concertado, los encargados de estacis-
 nes meteorológicas y algunos profesores de institutos y colegios. El cielo de
 nuestro país favorece este género de investigaciones, y lo que falta en me-
 dios materiales puede suplirse con decisión y buena voluntad.

A facilitar el trabajo, por si llegara à efectuarse, tiene la última
 parte de esta Memoria, concerniente à la clase de datos que deben
 apreciarse durante el fenómeno y medios prácticos para hacer las observaciones.

Observación del fenómeno

(1) - Datos que deben apreciarse

En las revistas profesionales del verano de 1897 se llamó la atención de la gente docta, para que estuviese preparada á observar las estrellas fugaces, procedentes de la constelación del León, que se esperaba habian de mostrarse muy abundantes, en razón de la proximidad del máximo que tendrá lugar el año 99. Quizás se exageró algo haciendo esperar á los aficionados un espectáculo magnífico, que por cierto no se disfrutó en parte alguna, ya por el estado cubierto del cielo, como ocurrió en Madrid, ya por la escasez de meteoros que se percibieron en las localidades, donde fue posible la observación.

Pero si este último año ha tenido el fenómeno muy escasa importancia, es de suponer que la tenga mayor en el presente, en el 99, en que se cumple el periodo de la revolución de las leónidas, y en los años sucesivos, pues las estadísticas de lo ocurrido en ocasiones análogas hacen esperar un recordamiento de meteoros en las proximidades del máximo. Y en los primeros años del siglo veintidós será también interesante seguir la pista de las biélidas, que atravesarán la órbita de Júpiter, así como las perseidas llegarán también á su máximo, si es cierto, como algunos pretenden, que dichos meteoros tienen también su periodo.

El mundo científico espera con viva curiosidad estas ocasiones de llevar á cabo fructíferos trabajos de observación, y España no debe permanecer indiferente. Falta sociedades expresamente organizadas para este género de estudios; falta material fotográfico y espectroscópico; pero no son estas

las nubes ni aún las principales observaciones que deben hacerse sobre las estrellas fugaces. Si el cielo nos proporciona algunas noches de trabajo útil, podríamos seguir el curso del fenómeno con asiduidad, en unas cuarenta y cinco Estaciones meteorológicas, sin contar con los muchos aficionados, que podrían suministrar datos interesantes, relativos al número de meteoros, fluctuaciones del mismo y particularidades que llamen la atención.

Las instrucciones que damos á continuación, tienden á establecer cierta uniformidad de miras y de método, que se traduzca en el mejor éxito de los resultados; y á que no existe, que sepamos, como sería de desear, un convenio general ó proyecto de todo conocido, para acomodar á él todas las observaciones que sobre el particular han de hacerse dentro de breve plazo.

*

Siempre que se observen estrellas fugaces debe comenzarse por hacer constar la presencia ó ausencia de la Luna sobre el horizonte, la fase de la misma, y el estado de nebulosidad del cielo, anotado á intervalos principales de tiempo, y considerando el hemisferio celeste dividido en 10 partes.

En el caso mas sencillo, esto es, cuando solo se trata de averiguar el número de estrellas fugaces, se divide el cielo en dos regiones, E. y O., ó en más si son más los observadores, y se trazan en un papel tantas rayas como meteoros se perciban. Anotando la hora cada quince minutos por ejemplo, se podrá apreciar el número de meteoros y el momento en que ha tenido lugar el máximo de los mismos.

Pero, además del número de estrellas fugaces, es de gran interés

43

apreciar el momento de aparición y de desaparición, posición de los puntos en que la estrella nace y se extingue, dirección de la ráfaga y particularidades que presenta. Con otros elementos se puede aspirar a la determinación del punto o pequeña región del radiante, al conocimiento de la longitud de la trayectoria, duración del brillo, y distinción de radiantes, en el caso en que no procedan de un mismo todo los meteoros observados.

El encargado de tomar los momentos de aparición y desaparición debe ir contando magistralmente los segundos del cronómetro de que se sirva, sin separar la vista del cielo, anotando el segundo y fracción de los dos instantes que es preciso fijar para obtener la duración del brillo del meteorito, y teniendo en cuenta que lo que interesa principalmente es una buena determinación de la diferencia de tiempo, para aspirar al mejor conocimiento posible de la velocidad. Solo un número escudioso de observaciones puede aclarar este asunto, bastante dudoso hoy día, a causa de las grandes diferencias que aunan los tiempos obtenidos por observadores diferentes. De aquí se deduce la importancia que tendrá el medir en unas mismas urbes y en numerosas localidades la duración de meteoros procedentes de un mismo radiante.

Para la determinación de los puntos extremos de una estrella fugaz se han ideado aparatos, que dan la altura y el acimut, con cuyos datos puede obtenerse la distancia a los puntos de observación, altura vertical y longitud de la trayectoria, por cálculos sencillos; pero ni aun el más hábil observador puede confiar en el valor de unas coordenadas, en tal forma deducidas; porque ni es fácil apreciar bien el acimut y la altura de un punto que surge sin

avivar, ni hay tiempo material para seguir el meteoro, y fijar su última estremidad, con probabilidades de mediano éxito.

Y como la determinación de los extremos de una estrella fugaz es de excepcional importancia, puesto que viene à ser como el eje sobre que gira todo el trabajo de observación y de cálculo, referente à esta teoría, se han seguido otros caminos para llegar à conocer las coordenadas de los extremos de un meteoro, y como consecuencia, la altura, longitud, velocidad y posición del radiante; deducida de la prolongación de la ráfaga en sentido contrario al de su marcha.

Estos procedimientos son el de Cartas de trayectorias y el foto-gráfico. El primero lo han seguido hasta hoy algunas sociedades, dedicadas al estudio de estos fenómenos, y daría seguramente grandes resultados si en nos se generalizara. El segundo es nuevo; está en vías de ensayo, y, aunque ofrece graves dificultades teóricas y prácticas, promete también grandes éxitos, cuando se perfeccione y se divulgue.

Siñendonos al primer método, entre otras razones, por excelso más practicable en España, donde se carece de material apropiado para fotografías de esta índole, en tanto que es muy fácil la construcción de cartas, y sencilla la observación, ó representación de ráfagas sobre las mismas, expresamos à continuación la manera de construir cartas de trayectorias, análogas à las empleadas, hace ya muchos años, por la Asociación Británica para las observaciones meteorológicas, y recomendadas por la Asociación similar francesa, y detallamos la teoría de tales cartas, al objeto de que cualquier aficionado pueda construir las, con el auxilio de los primeros rudimentos de matemática, y unas tablas de logaritmos.

(2). - Cartas de trayectorias

Sea O el lugar del observador, O' el eje del mundo, Z el zenit y hh' un plano paralelo al horizonte. La carta de que se trata tiene por objeto representar sobre el plano hh' una figura enalquiera de la esfera celeste, y à este fin se emplea la proyección cónica directa, siendo O el centro de proyección. - Fig. 7.ª - Es claro que, en este sistema de proyección, todo círculo máximo se proyectará según una línea recta, intersección de su plano con el hh' . Todo paralelo al cenador se proyectará según una cónica, intersección del plano de proyección con el cono, cuya base es el paralelo; y todos los paralelos al horizonte se proyectarán según circunferencias, puesto que, en este caso, el plano secante es paralelo à todas las bases de los conos, que à tales círculos corresponden.

Considerando las ráfagas luminosas de los meteoros como arcos de círculo máximo, se proyectarán según rectas, relativamente fáciles de trazar en la carta. Los extremos de estas rectas nos darán las coordenadas de los puntos de aparición y extinción del meteoros, y la prolongación de todas las trayectorias marcará la posición del radiante. Si construimos una carta de meridianos y paralelos, obtendremos la declinación y el ángulo horario de los extremos de cada recta, y si marcamos sobre la carta los verticales y paralelos al horizonte, encontraremos la altura y azimut. La carta que hemos construido, auxiliada de la figura 8.ª, suministra à la vez, graficamente, las dos clases de coordenadas, pudiendo hacerse una comprobación analítica, que nos dé una idea de la bondad del proce-

diminuto.

Tomemos como ejes rectangulares las rectas OX, OY, OZ , conside-
 rándolas positivas en el sentido S, O, y respectivamente. Trátase de
 representar sobre el plano $h\theta'$ los meridianos y paralelos. Los primeros estarán
 representados por rectas que pasen por el punto p , proyección de P , y para trazar-
 las es preciso determinar el ángulo que cada una de ellas forma con ph . Sea
 Pc' un meridiano, que forma un ángulo θ con el principal y sea l la latitud
 del lugar. El ángulo hpe que buscamos es igual a XOc' y este quedará de-
 terminado si hallamos la ecuación de la recta Oc' , puesto que el coeficiente angular
 de esta será igual a la $tg.$ del ángulo α que buscamos. Pero esta recta es la in-
 tersección del plano Pc' con el Xy . La ecuación del primero se determina por
 la condición de pasar por la recta OP y la de formar con el plano Yz un ángulo
 θ . Las ecuaciones de la recta OP son:

$$OP \dots \begin{cases} y = 0 \\ z = -\varphi tg. l \end{cases}$$

Las ecuaciones de todos los planos que pasan por esta recta son de la forma:

$$y + k(z + \varphi tg. l) = 0$$

Determinando k por la condición de que este plano forme con el Yz el ángulo
 θ resulta, $k = \cos tg. \theta$, y la ecuación del plano Pc' es:

$$y + 2 \cos l tg. \theta + \varphi \sin l tg. \theta = 0,$$

y la recta Oc' , intersección de este plano con el Xy , tiene por ecuación:

$$y + \varphi \sin l tg. \theta = 0, \text{ luego la } tg. \text{ del ángulo } \alpha, \text{ coeficiente}$$

angular de esta recta será

$$(1) \quad tg. \alpha = \sin l. tg. \theta,$$

fórmula sencillísima de calcular. En la carta adjunta hemos fijado

el punto p y trazado la línea NS, proyección del meridiano del lugar; hemos dado á \underline{l} el valor $40^{\circ} 24'$, latitud aproximada de Madrid, y, haciendo θ igual á $15^{\circ}, 20. \dots 90^{\circ}$, hemos obtenido, mediante la fórmula (1) los ángulos correspondientes á todos los meridianos de 15 en 15°.

La proyección de los paralelos, aunque no ofrece dificultad, es un poco entretendida. Sea CC' un paralelo, cuya distancia polar llamaremos d. La proyección cc' es la intersección del plano hh' , $z=h$, con el cono que proyecta el paralelo dado desde O, luego hallando la ecuación del cono, y cortando á este por el plano $z=h$, tendremos la ecuación de la curva proyectada. Las ecuaciones de OP, eje común de todos los conos, y las de las rectas que pasan por el origen son respectivamente:

$$OP \dots \left\{ \begin{array}{l} x = -z \cot l \\ y = 0 \end{array} \right\} \dots OC \dots \left\{ \begin{array}{l} x = az \\ y = bz \end{array} \right.$$

El coseno del ángulo que una cualquiera de las rectas OC, forma con OP, tiene por expresión: $\frac{1 - a \cot l}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1} \sqrt{\sec^2 l}}$, y por consiguiente el lugar geométrico de todas las rectas que, pasando por O, forman con OP un ángulo d, se obtendrá igualando $\cos d$ á esta última expresión; luego la ecuación del cono proyectante será:

$$\cos d = \frac{-a \cot l + \sec l}{\sqrt{\frac{x^2 + y^2 + z^2}{z^2} \cdot \frac{1}{\sec l}}} = \frac{(-a \cot l + \sec l) z}{r} \quad ; \text{quitando denominadores,}$$

$r^2 \cos^2 d = z^2 a^2 \cot^2 l + z^2 \sec^2 l - 2az^2 \cot l \sec l$, y substituyendo en lugar de r^2 su valor $x^2 + y^2 + z^2$, y en lugar de a el suyo, segun las ecuaciones de OC, resulta para la ecuación del cono

$$x^2 (\cos^2 d - \cot^2 l) + y^2 \cos^2 d + z^2 (\cos^2 d - \sec^2 l) + 2xz \cot l \sec l = 0$$

Cortando por el plano $h=z$, obtendremos la ecuación de cc', proyección

central de CC' , que será

$$(2) \quad x^2(\cos^2 d - \cos^2 l) + y^2 \cos^2 d + h + \sin 2l + h^2(\cos^2 d - \sin^2 l) = 0,$$

ecuación de una curva de segundo orden, que será elipse, hipérbola ó parábola segun que $\cos^2 d$ sea mayor, menor ó igual que $\cos^2 l$, es decir, elipse si $d < l$, hipérbola si $d > l$, y parábola si $d = l$.

En el caso particular en que $d = 90^\circ$, la ecuación (2) toma la forma:

$$x^2 = 2h + \sin 2l - h^2 \sin^2 l \quad \text{ó} \quad x = h \sin l,$$

que representa la proyección de un círculo máximo. En la fig.^a 7.^a puede verse que todos los puntos de cc' satisfacen á esta última ecuación.

Vemos, pues, que al tratar de construir la carta para un lugar determinado, esto es, para un valor particular de d , la especie de la cónica depende del valor de d . Nosotro distinguiremos los tres casos á que da lugar el valor relativo de estas cantidades, y dentro de cada caso, veremos la manera mas fácil en la práctica de construir la curva correspondiente á cada valor de la distancia polar.

Caso 1.^o $d < l$. Lo mismo en esta que en las demás secciones cónicas el plano meridiano contiene al eje del cono y á la perpendicular á la sección; es por consiguiente el plano principal, y en él estará el eje mayor de la elipse; así como el de la parábola y el real de la hipérbola en los casos en que la sección sea de esta especie. Ciéndonos al caso actual, buscaremos las coordenadas del centro de la curva, las de los vértices c y c' , y las longitudes de los semiejes, elementos suficientes para la fácil construcción de la elipse proyectante del círculo CC' .

Iguando á cero las derivadas del primer miembro de la ecuación

(2) con relación a x y a y , resulta:
$$\left. \begin{aligned} & \varphi (\cos^2 d - \cos^2 l) + h \operatorname{sen} l \cos l = 0 \\ & y \cos^2 d = 0 \end{aligned} \right\} , \text{ y las} \\ \text{coordenadas del centro serán:}$$

$$y_0 = 0 \quad \dots \quad x_0 = \frac{-h \operatorname{sen} l \cos l}{\cos^2 d - \cos^2 l}$$

La longitud del eje mayor es la diferencia de abscisas de los puntos a y c , que son: $x_1 = -h \operatorname{cotg} (l+d) \dots x_2 = -h \operatorname{cotg} (l-d)$, luego $2 = x_2 - x_1$, y

$$\frac{2}{h} = \frac{\cos l \cos d - \operatorname{sen} l \operatorname{sen} d}{\operatorname{sen} l \cos d + \cos l \operatorname{sen} d} - \frac{\cos l \operatorname{sen} d + \operatorname{sen} l \cos d}{\operatorname{sen} l \cos d - \cos l \operatorname{sen} d} ; \text{ dividiendo todos los términos}$$

por $\cos l \cos d$, y haciendo las operaciones indicadas,

$$\frac{2}{h} = \frac{2 \operatorname{tg} d (1 + \operatorname{tg}^2 l)}{\operatorname{tg}^2 d - \operatorname{tg}^2 l} = \frac{2 \operatorname{tg} d}{\cos^2 l (\operatorname{tg}^2 d - \operatorname{tg}^2 l)} = \frac{2 \cos^2 d \operatorname{tg} d}{\operatorname{sen}^2 d \cos^2 l - \operatorname{sen}^2 l \cos^2 d} , \text{ y substituyendo en vez de}$$

los cuadrados de los senos sus valores en función de los cuadrados de los cosenos

$$2 = 2h \frac{\operatorname{sen} d \cos d}{\cos^2 d - \cos^2 l} , \text{ y llamando } a \text{ al semieje mayor}$$

$$a = \frac{h \operatorname{sen} d \cos d}{\cos^2 d - \cos^2 l}$$

El eje menor será la intersección del plano de proyección con el perpendicular a la recta cc' , trazado por el centro de la curva proyectada. Este plano tiene por ecuación

$$y = - \frac{h \operatorname{sen} l \cos l}{\cos^2 d - \cos^2 l} . \text{ Esta ecuación y } 2 = h \text{ representan el eje menor. La magnitud de este } x \text{ encuentra determinando los puntos en}$$

corta a la curva, para lo cual basta llevar las coordenadas, sacadas de la ecuación de la recta a la curva (2), y tendremos:

$$\frac{h^2 \operatorname{sen}^2 l \cos^2 l}{(\cos^2 d - \cos^2 l)^2} (\cos^2 d - \cos^2 l) + y^2 \cos^2 d - \frac{2h^2 \operatorname{sen}^2 l \cos^2 l}{\cos^2 d - \cos^2 l} + h^2 (\cos^2 d - \operatorname{sen}^2 l) = 0 , \text{ ó}$$

$$y^2 \cos^2 d (\cos^2 d - \cos^2 l) = h^2 [- \operatorname{sen}^2 l \cos^2 l + (\cos^2 d)^2 - \operatorname{sen}^2 l \cos^2 d - \cos^2 d \cos^2 l + \operatorname{sen}^2 l \cos^2 l] , \text{ y}$$

finalmente, $y^2 \cos^2 d (\cos^2 d - \cos^2 l) = h^2 \operatorname{sen}^2 d \cos^2 d$, ecuación de 2.º grado con dos raíces iguales y de signo contrario, que son los semiejes menores; de donde

$$b = \frac{h \operatorname{sen} d}{\sqrt{\cos^2 d - \cos^2 l}}$$

Tenemos ya las fórmulas necesarias y suficientes para proceder al trazado

de las elipses. Observando las fórmulas que fijan las dimensiones de los ejes, vemos que la mayor ó menor magnitud de estos, para cada elipse, depende del valor que se dé á h . Este valor fija las dimensiones de la carta; en la que hemos construido, hemos tomado por unidad de longitud el milímetro, haciendo $h = 60$. Inmediatamente hemos dado á d los valores 10° , 20° y 30° . Las fórmulas que fijan el centro y dimensiones de los ejes son facilísimas de calcular: el logaritmo de h y el de $\sec \alpha$ se busca una vez para siempre; y la expresión $\cos^2 d - \cos^2 l$ se substituye por $\sin(l+d)(\sin l-d)$. Después de obtener el centro y los ejes se construyen las elipses gráficamente con mucha facilidad; así se han construido las elipses $d = 10^\circ$ y $d = 20^\circ$. La elipse $d = 30^\circ$ no cabe en los límites del dibujo y, para construirla, ha sido preciso determinar analíticamente pares de puntos, dando valores a x en la ecuación (2). El cociente numérico de estos valores es sencillísimo, como puede verse en las enartillas de cálculos numéricos que hemos necesitado para construir el mapa. Si se quiere trazar mayor número de elipses, de 5 en 5° por ejemplo, se construirán del mismo modo: hasta $d = 20$ ó 25° , sirviéndose de los ejes, y para distancias polares mayores hallando pares de valores de y , correspondientes á cada valor de x ; pero la claridad de la carta aconseja construir las curvas de 10 en 10° , ó aumentar las dimensiones del dibujo. Hemos optado por el primero de estos extremos y nos hemos limitado á construir las tres elipses, correspondientes á las distancias polares 10 , 20 y 30° , porque la elipse $d = 40^\circ$ se confundiría casi con la parábola que corresponde á $d = 40^\circ 26'$.

2.º caso. — $d = l = 40^\circ 26'$. Hemos visto que en este caso la proyección del paralelo es una parábola; la ecuación (2) toma la forma siguiente:

$$(3) y^2 \cos^2 d + h \sin 2d + h^2 \cos 2d = 0$$

El vértice se obtiene haciendo en esta ecuación $y=0$, en cuyo caso

$$x = -h \frac{\cos 2d}{\sin 2d} = -h \cotg. 2d = -h \cotg(80^\circ 48') = -h \operatorname{tg}(9^\circ 12')$$

Proyectando directamente el punto del paralelo, situado en el meridiano principal, entre C y Z , obtendríamos el mismo resultado. La abscisa del vértice es $x_0 = -9,7$. Gráficamente se podría encontrar el foco y la directriz de la parábola, y continuar la construcción geométrica de la misma; pero, a fin de no complicar la figura 7.^a, ni el mapa, es preferible deducir los valores de y , que corresponden a cada valor dado á x en la ecuación (3), que se puede escribir en esta forma ... $y^2 = -\frac{h \sin 2d}{\cos^2 d} x - \frac{h^2 \cos 2d}{\cos d}$, y hallando el valor numérico de los coeficientes, fácilmente calculables por logaritmos:

$$y^2 = -102,1x - 992,5,$$

en la cual, á cada valor de x mayor que 9,7 corresponden dos valores reales de y , iguales y de signos contrarios, que permiten trazar la curva por puntos con facilidad y prontitud.

3.^{er} caso. — d 7l. En este caso la proyección del paralelo es una hipérbola, y solo nos ocuparemos de las correspondientes á valores de d comprendidos entre $40^\circ 24'$ y 90° , pues cada una de estas curvas tiene una rama, situada en la hoja del cono, ~~completa~~ situada entre el cenador y el polo visible, y otra rama en la hoja opuesta, que, en general, no nos interesa determinar.

Nada más fácil que construir por puntos las hipérbolas: el eje real de todas ellas coincide con el eje mayor de las elipses; es la recta $h'h'$ de la figura 7.^a; luego si determinamos el vértice de la rama de hipérbola, correspondiente á la hoja superior del cono, y pasos de valores de y , correspon-

dientes à valores diversos de φ , en la ecuación (2) podremos construir la hipérbola por puntos, con gran sencillez.

Al comenzar la construcción de la carta hemos trazado en el plano del dibujo (hh') una línea NS , y fijado en ella un punto p , proyección del polo. La proyección del zenit estará entre p y S , y distará de p una cantidad $z_p = h \cotg. \delta$. Conocida en la carta la posición del zenit, se obtiene con facilidad el vértice de la rama de hipérbola que nos interesa; porque, siendo $E'E''$ (fig. 1.ª) un paralelo, cuya proyección es una hipérbola, por ser $d > \delta$, el vértice será la proyección del punto E' , para el cual se tiene: $z_{E'} = h \operatorname{tg}(2E') = h \operatorname{tg}(d - P2) = h \operatorname{tg}(d - 49^\circ 36')$. Esta fórmula sencillísima permite encontrar los vértices de las hipérbolas, dando à d valores sucesivos, mayores que $40^\circ 24'$. En la adjunta carta hemos partido del valor $d = 50^\circ$, procediendo à aumentar de 10 en 10; lo que da para $2E'$, ángulo, cuya tg . hay que buscar valores sucesivos de 10 en 10, à partir del valor $2E' = 24'$, correspondiente à $d = 50^\circ$, puesto que en este caso $2E' = 50^\circ - (49^\circ 36')$. Obtenidos los valores numéricos de las proyecciones de las distancias del zenit à los diversos vértices, se llevarán en la carta à partir del punto z sobre la recta NS , en el sentido que marque el signo de que tales valores numéricos estén afectados, y solo queda llevar à la fórmula (2) el valor de d y darà φ valores sucesivos.

Así, por ejemplo: para $d = 60^\circ$, la fórmula $z_{E'} = h \operatorname{tg}. 2E'$ da para la abscisa del vértice un valor $\varphi_0 = + 11^{mm}$; llevands à la fórmula (2) el valor de d y calculando los coeficientes, la ecuación de la hipérbola se reduce à la siguiente forma $y^2 = (0.12 + 0.22\varphi^2 - 59.2\varphi) \times 4$. (4)

Cada valor de α , inferior a $+11$, da para y dos valores reales, iguales y de signo contrario. En nuestra carta hemos dado a α los valores $+5, 0, -5, -10, \dots, -100$, encontrando, con facilidad suma, numero y punto de la hipérbola.

Ostense que si damos a α el valor 120° , y seguimos el procedimiento anterior, obtendremos para abscisa del vértice un valor positivo mucho mayor que el anterior; pero si llevamos a la ecuación (2) el nuevo valor de α , y calculamos de nuevo los coeficientes, tomarán estos los mismos valores numéricos, puesto que la ecuación debe ser la misma (4) como fue representada una misma curva. En efecto, los paralelos $d=60$ y $d=120$ proyectados desde O forman un solo cono que, cortado por el plano h_i debe dar dos ramas de hipérbola, representadas por la ecuación (4). Si en esta damos a α valores negativos, mayor que el encontrado para la abscisa del 2.º vértice tendremos para y valores reales de y , pertenecientes a la segunda rama de la hipérbola; si damos valores positivos, comprendidos entre las abscisas de los vértices obtendremos para y valores imaginarios; y si damos a α valores negativos, o positivos, inferiores a la abscisa del primer vértice, obtendremos, como vimos antes, valores reales de y , pertenecientes a la 1.ª rama de la curva.

Con lo dicho queda probado con bastante facilidad se puede construir una carta de trayectorias, con el auxilio de unas tablas de logaritmos, y hemos descendido a ciertos detalles, para la inteligencia de los poco versados en matemáticas elementales, pecando de prolijo y difuso, para aquellos que conocen bien la Geometría analítica. Seriendo ya una red de

meridianos y paralelos, que puede hacerse tan espesa como permita la claridad del dibujo, según sus dimensiones, solo falta utrocar en el mapa las estrellas visibles sobre el horizonte del lugar á la hora que se elija.

En la carta adjunta hemos elegido las dos de la madrugada del día 14 de Noviembre de 1899; pero conviene hacer tres ó cuatro cartas, correspondientes á diferentes horas para una misma noche de observación, y no traer en una solo las trayectorias de gran número de meteoros.

La carta, construida en esta forma, suministrará con aproximación, dependiente ante todo del mayor ó menor acierto en la representación gráfica de las ráfagas luminosas, la ascensión recta y la declinación de las estrellas fugaces observadas. Para obtener la altura y el acimut espresivos representar los círculos verticales y los paralelos al horizonte. Los primeros se proyectarán según rectas que pasarán todas por z , proyección del zenit; además el ángulo que estas forman con z ^{Fig. 72} es el rectilíneo de los diedros respectivos, formado por el meridiano con los verticales; rectilíneo que no cambia de valor al proyectar, por estar situado en el plano del dibujo; luego, si, desde el punto z trazamos rectas de 15 en 15°, desde 0 á 360, tendremos representados los verticales. Los paralelos al horizonte se proyectarán según círculos, cuyos respectivos h obtendrán mediante la fórmula ... $r = h \operatorname{tg} z$, siendo z la distancia zenital. Como no sería posible hacer en la carta este nuevo trazado sin embrollarla y dar motivo á confusiones lamentables, hemos construido aparte, y en la misma escala $h = 60$, este nuevo sistema de coordenadas. Hecha la observación y deducidas gráficamente la declinación y ascensión recta de los meteoros, con el cuidado que el caso requiere, se puede superponer sobre cada mapa la

fig.^a 8.^a, contruida en la forma que acabamos de indicar, haciendo coincidir el punto z y la línea NS, en cuya forma puede apreciarse el azimut y la altura de los meteoros; elementos necesarios para obtener por cálculos sencillos, la altura y distancia de los extremos de cada trayectoria. Prolongando los extremos de estas, en sentido contrario al movimiento de las mismas se obtendrá la posición del punto radiante entre las estrellas, acaso con más exactitud que por ninguno otro procedimiento, sobre todo si se hacen entrar en juego multiples observaciones, efectuadas en una misma fecha, en distintas localidades.

Terminaremos advirtiéndole que el encargado de fijar trayectorias en la carta debe atender esclusivamente à esta delicada misión, y tener à su lado un ayudante encargado de anotar en un cuaderno los momentos de origen y estinción de cada meteor, señalando à esto con un número, que sea el mismo en la carta y en el libro. Este mismo ayudante debe ser el que aprecie la intensidad del brillo, y cuantas circunstancias dignas de mencionarse ocurran en el curso de la observación.

Madrid 1.^o de Mayo de 1838.

J. W. Vela

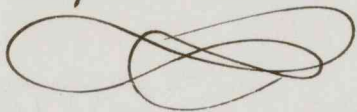


Fig. 80

