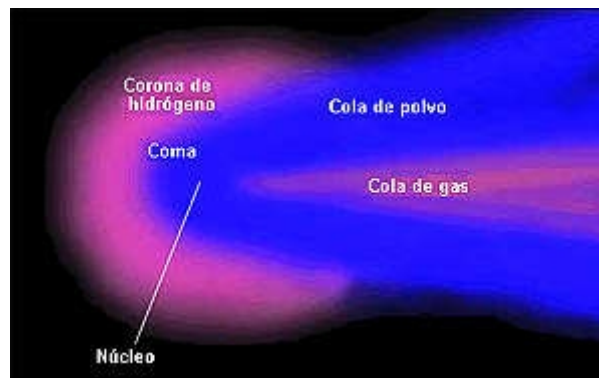


Cometas y Meteoros

Los cometas son pequeños cuerpos de forma irregular compuestos por una mezcla de granos no volátiles y gases helados, lo que les valió ser designados por Whipple como "bolas de nieve sucias". El nombre "cometa" proviene del griego clásico y significa astro con larga cabellera, como referencia a sus largas colas.

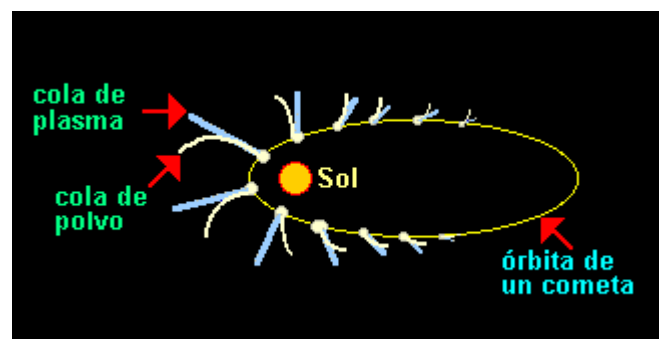
Típicamente, un cometa tiene menos de 10 km de diámetro. La mayor parte de sus vidas son cuerpos sólidos congelados. Cuando eventualmente se acercan al Sol, el calor de éste empieza a vaporizar sus capas externas, convirtiéndolo en un astro de aspecto muy dinámico, con unas partes diferenciadas; el gráfico inferior muestra los componentes de un cometa. Mientras se mantiene congelado, es simplemente un núcleo y su aspecto es muy similar al de un asteroide, con la salvedad de que en vez de estar compuesto por rocas, lo está por hielos. Las estructuras de los cometas son diversas y con rápidos cambios, aunque todos ellos, cuando están suficientemente cerca del Sol, desarrollan una nube de material difuso denominada coma, que aumenta de tamaño y brillo a medida que el cometa es calentado por la radiación solar. También muestran normalmente un pequeño núcleo, semioculto por la neblina de la coma. La coma y el núcleo constituyen la "cabeza" del cometa.



Los cometas son imprevisibles, pudiendo repentinamente brillar o empalidecer en cuestión de horas. Pueden perder su cola o desarrollar varias. Algunas veces pueden incluso partirse en dos o más pedazos, moviéndose juntos por el cielo.

Poseen órbitas muy elípticas, que en el perihelio los lleva muy cerca del Sol, en tanto que a menudo el afelio tiene lugar mucho más allá de la órbita de Plutón. Por la duración de sus períodos orbitales se les divide en cometas de corto período y cometas de largo período. Evidentemente, también pueden existir cometas de período medio. Se denominan cometas periódicos aquellos cuyas órbitas, bien determinadas, hacen que vuelvan a pasar por las cercanías del Sol al cabo de unos años.

La figura pone de manifiesto dos particularidades de los cometas. La primera es que la cola se desarrolla a medida que éstos se acercan al Sol, debido al calentamiento de sus heladas superficies. La segunda, es que sus colas siempre están dirigidas en dirección opuesta al Sol.



No hace todavía mucho, los cometas eran objeto de superstición y se les atribuía el carácter de mensajeros de malas noticias.

Registros escritos en China y Europa que se remontan hasta 3000 años atrás, cuentan ocasionales cometas de gran tamaño moviéndose por el cielo, junto con las calamidades que la gente creía que habían causado. Relatos más recientes de los indígenas de América del norte,

central y del sur, así como de islas del Pacífico, hablan de los cometas como señales de catástrofes. En todas las sociedades se los ha relacionado con todo tipo de catástrofes: guerras, terremotos, plagas y muertes de reyes y dirigentes.

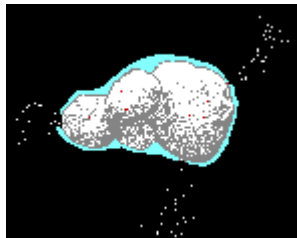
El astrónomo inglés Edmund Halley fue un buen amigo de Isaac Newton. En 1705 usó la nueva teoría de la gravitación de Newton para determinar órbitas de cometas a partir de sus registros en el cielo en función del tiempo. Halló que los cometas brillantes de 1531, 1607 y 1682 tenían casi las mismas órbitas, y cuando tuvo en cuenta las perturbaciones gravitacionales producidas por Júpiter y Saturno sobre los cometas, llegó a la conclusión de que fueron distintos aspectos de un mismo cometa. Entonces, realizó los oportunos cálculos y predijo el retorno del cometa en 1758.

Halley no vivió para poder comprobar su predicción, puesto que falleció en 1742. Sin embargo, el día de Navidad de 1758, el cometa que inmortalizaría su nombre hizo el retorno previsto, siendo localizado por Johann Georg Palitzsch, un granjero alemán aficionado a la astronomía, con lo cual no sólo se desmitificaba el mal augurio que se había atribuido a los cometas, mostrando que eran astros como todos los demás, sino lo más importante, que quedaba absolutamente probada la teoría de la gravitación de Newton.

Después del retorno de 1758-1759, los astrónomos empezaron a buscar conexiones entre el cometa Halley y otros cometas vistos antes de la aparición de 1531. En total fueron identificadas 23 apariciones previas, siendo la primera documentada por los chinos en el año 240 antes de Cristo. El último retorno fue en 1986 (nada espectacular) y el próximo está previsto para el año 2061.

EL NÚCLEO

Después que sonda espacial europea Giotto fotografiara el núcleo del cometa Halley en 1986, sabemos que el núcleo de un cometa probablemente tiene una superficie que puede definirse como una corteza negra. El cometa Halley posee un núcleo de unos 12 km y se cree que los núcleos de los cometas tienen diámetros comprendidos entre 1 y 50 km. El cometa Hale-Bopp de 1997 tenía un núcleo estimado en unos 40 km.



Posible estructura interna de un núcleo cometario, inspirado en un dibujo de D. Jewitt.

La corteza negra del núcleo ayuda al cometa a absorber calor, el cual causa que algunos hielos de debajo de la corteza se conviertan en gas. Con el aumento de la presión por debajo de la corteza, el helado terreno empieza a combarse en algunos sitios. Eventualmente las áreas más blandas de la corteza ceden y el gas es disparado hacia afuera de forma parecida a un géiser y que los astrónomos denominan chorro o jet. Junto con el gas también se arrastra el polvo que pueda contener. A medida que aparecen más y más chorros, se forma una envoltura de gas y polvo alrededor del núcleo que se denomina coma.

LA COMA

Los cometas normalmente despliegan una coma de varios miles de kilómetros de diámetro, cuyo tamaño depende de la distancia al Sol y del diámetro del núcleo. Este último es importante, pues como los chorros generalmente surgen en la cara del núcleo que mira el Sol, la más caliente, cuanto mayor es el núcleo, más grande es la superficie dirigida al Sol, con lo que potencialmente puede existir un número mayor de chorros que proporcionen una mayor cantidad de gas alimentando a la coma. Uno de los mayores cometas históricos fue el Gran Cometa de 1811. Su núcleo fue estimado entre 30 y 40 km de diámetro y durante los meses de septiembre y octubre

de 1811 la coma alcanzó un diámetro aproximadamente igual al del Sol (1.400.000 km).

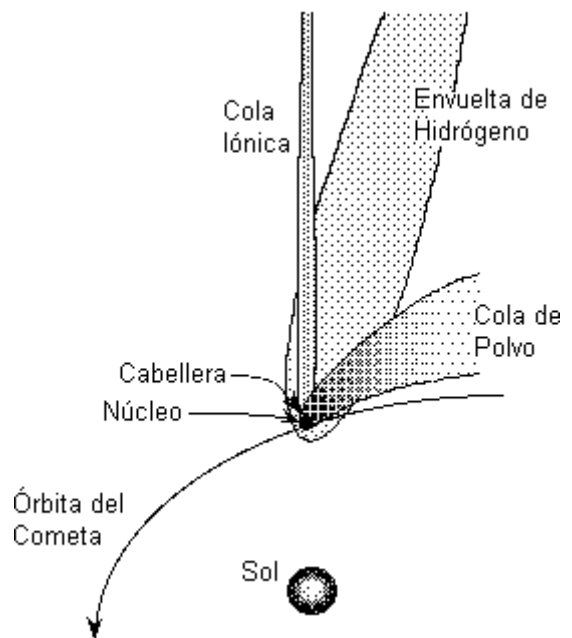
El diámetro de la coma decrece apreciablemente cuando alcanza la órbita de Marte. A esa distancia es cuando el chorro de partículas solares adquieren la suficiente intensidad para arrastrar las partículas de gas y polvo del núcleo y la coma, y este proceso es el responsable de la cola del cometa que le confiere su espectacularidad.

LA COLA

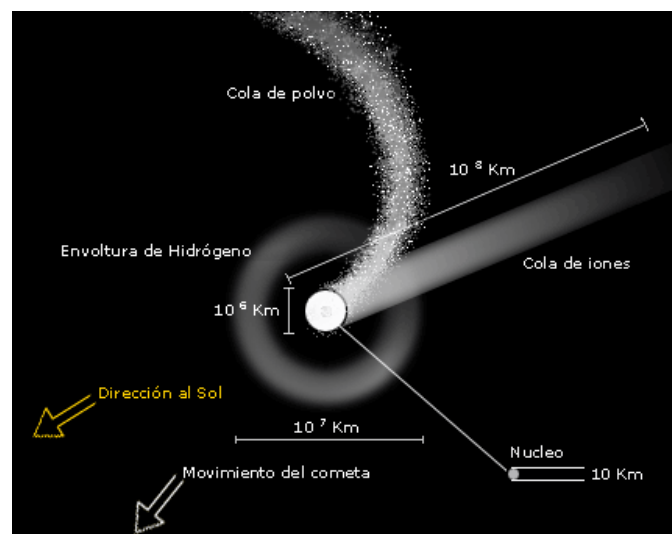
Las colas de los cometas brillantes pueden llegar a tener una longitud de 150 millones de kilómetros (1 U.A.) y más. Sin embargo, las colas que están compuestas por gas y polvo procedentes del núcleo son muy difusas, tanto que el vacío en la cola es mucho mejor que cualquier vacío que se pueda producir en la Tierra. La cola más larga observada fue la del Gran Cometa de 1843, que se extendió más de 250 millones de kilómetros. Para tener una idea de lo que esto representa, baste decir que si el núcleo de cometa estuviera situado en el centro del Sol, las cola no sólo rebasaría las órbitas de Mercurio, Venus y la Tierra, sino ¡también la de Marte!



Muchos cometas poseen dos colas, una cola de gas (también llamada cola iónica o cola de plasma) compuesta por iones por el choque del viento solar con el cometa, y la cola de polvo, compuesta por partículas liberadas del núcleo al vaporizarse el hielo. Las partículas de polvo se disponen siguiendo la órbita del cometa y se desplazan ligeramente por la presión de la radiación solar, por lo que tienden a curvarse respecto a la cola de iones. La cola de plasma con frecuencia muestra estructuras asociadas con variaciones del ritmo de eyección del núcleo en el tiempo. La cola iónica normalmente es más azul, estrecha y recta, mientras que la cola de polvo es más difusa, ancha, a menudo curvada y de color más blanco. Estas diferencias de aspecto están directamente correlacionadas con los diferentes orígenes y composiciones de ambas colas. Alrededor del cometa también se desarrolla una tenue envoltura de hidrógeno: como el cometa absorbe luz ultravioleta, por procesos químicos se escapa hidrógeno y forma una especie de envoltura. Sin embargo, esto no puede ser observado desde la Tierra, pues su luz es absorbida por la atmósfera y únicamente es posible verlo desde el espacio.



Tal como se ha dicho al principio, la descripción más concisa de un cometa es que son bolas de nieve sucia. Poseen un tamaño de pocos kilómetros y parecen estar compuestos principalmente por hielos de agua, dióxido de carbono, amoníaco y metano, mezclados con polvo. Se cree que esta composición representa un ejemplo de la materia primordial a partir de la que se formó el sistema solar. Por consiguiente, son de un considerable interés científico por la información que pueden proporcionar sobre la primitiva historia del sistema solar.



ÓRBITAS DE LOS COMETAS

Los cometas interactúan gravitacionalmente con el Sol y otros objetos del sistema solar. Su movimiento también está influenciado en cierto grado por los gases que eyecta, de modo que sus órbitas están determinadas mayormente, pero no del todo, por la gravedad.

La mayoría de órbitas parecen ser elípticas o, en algún caso, parabólicas. Muchos de los cometas pertenecen a una población denominada cometas de corto período, con órbitas elípticas "suaves" que los llevan a regiones lindantes con Júpiter o hasta más allá de la órbita de Neptuno. Aproximadamente una docena de estos cometas pasan por el sistema solar interior cada año, pero normalmente sólo pueden ser observados con telescopios.

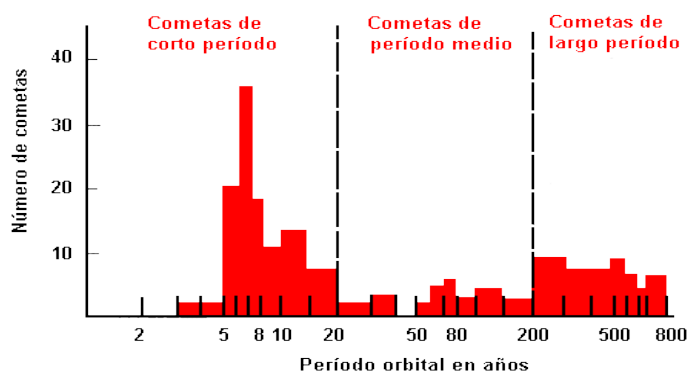
Los cometas que son mucho más fáciles de ver son mucho más raros; se piensa que provienen de un gran cúmulo esférico de material cometario que rodea el Sol, llamado nube de Oort. Esta esfera tiene a un año luz (50.000 UA) de radio, es decir, de dimensiones enormes, aunque la masa total de este material cometario es pequeña, estimada desde menos de la masa de la Tierra hasta, como máximo, menos de la masa de Júpiter. Puede comprobarse que estas estimaciones son muy dispares, pero hay que tener en cuenta que la propia nube de Oort tan sólo es una hipótesis. Ocasionalmente un cometa de esta nube es perturbado gravitacionalmente, por ejemplo por el paso de una estrella o por interacciones con otro cometa, emprendiendo un largo camino con una larga órbita elíptica o parabólica hacia el Sol. Estos son los cometas de largo período, que históricamente suelen ser los más brillantes observados. Las órbitas de todos los cometas pueden ser fuertemente influenciadas cuando pasan cerca de los planetas jovianos y, en ocasiones, quedan confinados en órbitas más cortas y cercanas.

PERÍODOS DE LOS COMETAS

Como se ha indicado, los cometas pueden clasificarse de acuerdo con sus períodos orbitales, que además, también les confiere otras características propias como vamos a ver a continuación.

Los cometas de corto período son aquellos que necesitan menos de 20 años para describir una órbita completa alrededor del Sol. Por tanto, se sobreentiende que son periódicos, es decir, que repiten sus pasos por el perihelio como si se tratara de planetas. Existen otras características que los diferencian, como son que sus inclinaciones orbitales respecto a la eclíptica en casi la mitad de ellos (48%) son inferiores a los 10 grados, mientras que el 37% de los restantes poseen inclinaciones entre 10 y 20 grados. Además, en su inmensa mayoría su sentido de rotación es directo, como el de los planetas y muchos de ellos tienen su afelio en las proximidades de la órbita de Júpiter. Las dimensiones de los núcleos de éstos son del orden de los 2 km, es decir, pequeños, pues en los frecuentes pasos por el perihelio van perdiendo sus componentes volátiles y sus vidas forzosamente deben ser cortas a escala cosmológica. Se supone que debe existir algún mecanismo que realimente el sistema solar interno de cometas de corto período, pues de lo contrario los existentes posiblemente ya se hubieran consumido hace tiempo.

Los cometas de largo período son los que completan su órbita en más de 200 años. Sus inclinaciones pueden adquirir cualquier valor y están distribuidos de forma más o menos aleatoria por la esfera celeste. Sin embargo, una característica es que sus semiejes mayores hacen suponer que proceden de un remoto halo cometario situado entre las 10.000 y 100.000 unidades astronómicas. Fue este hecho el que hizo postular a Oort la existencia de una nube o esfera donde se hallaban confinados y que hoy conocemos con el nombre de nube de Oort. Se calcula que



para mantener constante el número observado de cometas de corto período, deberían transitar cada año entre 1.000 y 3.000 pequeños cometas de largo período entre 4 y 6 unidades astronómicas del Sol.

Los cometas de período medio poseen períodos orbitales entre 20 y 200 años. Se conocen varias docenas de ellos y cuatro se mueven en sentido retrógrado. El más famoso es el cometa Halley que describe una órbita en unos 76 años en sentido retrógrado, con una inclinación de 162° con respecto a la eclíptica. Tienen el mismo origen que los cometas de corto período, pero como sus órbitas los llevan con menos frecuencia a las proximidades del Sol, conservan bastantes características de los cometas nuevos o jóvenes.

¿DE DÓNDE PROCEDEN?

El sistema solar empezó como una vasta nube de polvo y gas. Hace 4.600 millones de años esta nube giraba lentamente alrededor del naciente Sol y partículas de la misma colisionaron entre sí. Durante ese tiempo algunos objetos fueron destruidos por las colisiones, en tanto que otros crecieron en tamaño y llegaron a convertirse en planetas.

A lo largo de este primitivo período, los cometas probablemente llenaban el sistema solar. Sus colisiones con los nacentes planetas desempeñaron un papel principal en el crecimiento y evolución de cada planeta. Los hielos de los que están compuestos los cometas parecen haber sido los "ladrillos" que formaron las primitivas atmósferas de los planetas. Hay quien cree firmemente que fueron las colisiones de cometas las que proporcionaron el agua de la Tierra y lo capacitaron para que la vida pudiera empezar. Es más, pudieron ser básicos en la formación de algunos planetas gigantes, tales como Urano y Neptuno, cuyas composiciones prácticamente son idénticas a las de los cometas.

Con el transcurso de los tiempos, los cometas han llegado a ser objetos raros en el interior del sistema solar. Dejaron de poblar el espacio interplanetario hace unos 4.000 millones de años y actualmente, en promedio, sólo aparece uno visible a simple vista cada década. Con telescopios potentes se pueden ver muchos más, pero continúan siendo escasos, pues se observan como mucho de 15 a 20 al mismo tiempo en todo el cielo.

Hoy en día, la mayoría de los cometas se hallan localizados fuera del sistema solar, en parte de la nube original de polvo y gas que ha permanecido prácticamente intocable durante miles de millones de años. Estas regiones son conocidas por nube de Oort y cinturón de Kuiper.

La existencia de la nube de Oort fue propuesta teóricamente por el astrónomo holandés Jan Oort en 1950. Sus estudios sobre los cometas con períodos orbitales muy largos le llevaron a la conclusión de que existía una gran "nube" de cometas fuera del sistema solar, tal vez a una distancia de un año luz. El número de cometas que contiene se ha estimado entre un billón (1.000.000.000.000) y 10 billones. Se piensa que objetos de esta nube, por colisiones entre ellos o por perturbaciones de estrellas próximas, son arrojados fuera de la nube. Algunos, probablemente nunca cruzan las órbitas de los planetas gigantes, pero unos pocos pueden penetrar en el sistema solar interior y ser detectados desde la Tierra. Hay que indicar que la existencia de esta nube es sólo teórica y nunca ha sido detectada directamente.

El cinturón de Kuiper es una región en principio teórica propuesta por Whipple y también por Kuiper hacia 1950. Viendo que la nube de Oort no podía explicar adecuadamente la existencia de cometas con cortos períodos, se propuso la existencia de un cinturón de cometas en el exterior de la órbita de Neptuno, entre las 30 y 50 unidades astronómicas. Hacia 1988 Jewitt y Luu iniciaron la búsqueda de estos hipotéticos objetos, que culminó en 1992 con el descubrimiento de 1992 QB1. Este objeto, con un período de 291 años, orbita al Sol a una distancia media de 43 UA. A fines de 1996 el número de objetos de este tipo descubiertos ya era de unos 40, descubriéndose continuamente otros más.

COLISIONES CON COMETAS

Dado que las órbitas de los cometas en ocasiones cruzan las órbitas de otros cuerpos del sistema solar, pueden producirse colisiones. Hubo un tiempo en que se pensaba que la colisión de un cometa con la Tierra no ocasionaría graves perjuicios. Ahora se sabe que no es así y que el choque de un cometa, al igual que el de un asteroide, puede tener resultados catastróficos.

En la mañana del 30 de junio de 1908, en una región remota de la Siberia central denominada Tunguska, un gran bólido blancoazulado más brillante que el Sol estalló en el cielo con un intenso resplandor y onda de calor. El ruido de la explosión pudo ser oído a 1000 km de distancia, y derribó los árboles en un radio de 30 km desde el punto central del valle del río Tunguska. La onda expansiva dio dos veces la vuelta a la Tierra y en las noches siguientes se pudo observar una neblina rojiza en la alta atmósfera, aunque en aquel momento no se conocían los motivos. Se estima que la explosión tuvo una intensidad equivalente a una bomba de hidrógeno de 10 a 20 megatonnes detonada a unos 6-8 km de altura sobre la superficie, lo que podría explicar el por qué no ha sido hallado ningún cráter en la zona.

La región era tan remota que hubo pocos testigos y presumiblemente se perdieron pocas vidas. Las noticias del evento fueron censuradas y sólo se conocieron poco a poco en el resto del mundo. Debido a lo alejada que es la zona y a las vicisitudes políticas en esa parte durante el primer tercio del siglo, no fue hasta 1927 que finalmente partió una expedición para investigar lo que había sucedido. Aunque han sido propuestas varias teorías fantásticas, la explicación más simple consiste en que la Tierra fue alcanzada por un pequeño cometa o roca asteroidal de unos 100 metros de diámetro, que estalló antes de alcanzar el suelo, sobre la vertical de Tunguska.

En 1994 pudimos ser testigos directos de un fenómeno similar en otro planeta del sistema solar. En efecto, a mediados de julio fragmentos del Cometa Shoemaker-Levy 9 impactaron sobre Júpiter.

El Shoemaker-Levy 9 era un cometa con una órbita que parcialmente interceptaba la de Júpiter. Durante una muy cercana aproximación a Júpiter fue roto en más de 20 pedazos por la fuerza de la gravedad del planeta, al tiempo que fue capturado quedando momentáneamente en órbita alrededor de éste como si de un nuevo satélite se tratara, pero en una elipse tan cerrada, que pasaba por dentro del globo de Júpiter. Se pudo calcular con antelación que en el siguiente acercamiento, los fragmentos en que se había dividido el cometa se precipitarían uno tras otro, a lo largo de una semana, sobre Júpiter, organizándose una gran campaña mundial que observar este acontecimiento, que se calcula puede ocurrir una vez cada 500 o mil años.

En verdad que el espectáculo no defraudó a nadie y los efectos de los impactos superaron todas las expectativas previas. Aunque no existe un consenso entre los especialistas sobre el tamaño original y la composición del cometa, en un principio se estimó que podía tener unas dimensiones cercanas a los 10 km, pero más tarde se rebajó esta cifra a entre 3 y 5 km. Una vez fragmentado, los pedazos menores se estima que podían ser del orden de los 100 a 300 metros (varios de los más pequeños se volatilizaron antes del impacto) y los mayores podrían llegar a incluso superar 1 km.

El resultado de los choques sobre el gigantesco Júpiter fueron impresionantes, sobre todo pensando en el efecto devastador que podría tener el impacto de uno sólo de estos fragmentos en un planeta como la Tierra. La bola de fuego de los mayores impactos en algunos casos fue de algunos millares de kilómetros, y en la alta atmósfera quedaron unas marcas oscuras (prácticamente negras) que perduraron meses. Prescindiendo de la onda explosiva y de sus efectos, tan sólo esta capa oscura podría ser catastrófica para la vida en la Tierra, ya que bloquearía la llegada de la luz y el calor solar durante meses, sumiendo al planeta a bajísimas temperaturas, al tiempo que impediría la fotosíntesis, con lo que las plantas morirían, a las que seguirían los animales que se alimentan de ellas.

Observación de cometas.

OBSERVACIONES VISUALES

Los elementos a cuantificar serán los siguientes:

1. magnitud visual global
2. tamaño de la coma
3. grado de condensación de la coma
4. longitud de la cola
5. ángulo de posición de la cola
6. hora, calidad de cielo y observación...

Veamos la cuantización de algunas de estas variables:

Para la determinación de la magnitud visual global de la coma del cometa se pueden utilizar los métodos de Bobrovnikolff, o fuera-fuera, de Sidwick, o adentro-fuera, de Morris o de Beyer.

Veamos un poco más en detalle el método Bobrovnikolff o fuera-fuera. Para éste método se desenfoca tanto la/s estrella/s de referencia como el cometa. Y se utiliza preferentemente para cometas brillantes.

1. Desenfocar el ocular del telescopio hasta producir una imagen de un tamaño aparente similar entre la parte visible del cometa y las estrellas de comparación.
2. Mirar una estrella más débil que el cometa, seguidamente al cometa y después a una más brillante. Comparar así las magnitudes de las estrellas con la estimada del cometa y evaluar ésta por interpolación, evaluando la posición en la que está la magnitud del cometa entre las dos estrellas de comparación

Supongamos que comparamos las estrellas A y B de magnitud 7,5 y 8,2 respectivamente. La diferencia de sus magnitudes es: $8,2 - 7,5 = 0,7$ Si el cometa es 0,6 de A a B, la magnitud estimada es : $0,6 \times 0,7 + 7,5 = 7,92$ o sea 7,9.

Entre los factores que afectan a la medición encontramos los siguientes:

- El DIÁMETRO DEL TELESCOPIO. En general, con instrumentos pequeños recogemos más luz de las regiones más externas de la coma, lo cual puede hacer que la veamos algo más brillante que con instrumentos más grandes, los cuales son más precisos para medir la condensación de la coma. Hay que escoger el instrumento más pequeño que sea capaz de darnos una buena imagen del cometa.
- Como ESTRELLAS DE COMPARACIÓN podemos utilizar las que vienen recogidas en las cartas de estrellas variables de la AAVSO o las del catálogo Tycho que viene en muchos programas informáticos actuales. Las estrellas que escogeremos no serán estrellas rojas.
- ALTITUD del cometa sobre el horizonte, si muy bajo sufrirá extinción atmosférica. Corrección por tablas ICQ.

Para cuantificar la ESTRUCTURA DE LA COMA deberemos tener en cuenta los siguientes parámetros: el Diámetro o tamaño aparente, el Grado de condensación y los posibles detalles dentro de la coma. Veamos estos parámetros en detalle:

1. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA COMA

La coma tiene una forma circular cuando el cometa está lejos para prolongarse hacia una forma elíptica al acercarse. En el primer caso debe medirse su diámetro, pero en el segundo deberán medirse sus dos ejes.

La medición se hace mediante estimación comparando a través del telescopio el

tamaño de la coma con la separación entre dos estrellas que deberán luego ser identificadas sobre la carta celeste. Se puede realizar también con ocular con micrómetro o retículo iluminado.

2. GRADO DE CONDENSACIÓN DE LA COMA

Descripción del perfil de intensidad de la coma mediante la escala de valores de 0 a 9 (no son necesarios decimales).

- 0 . Coma difusa con luminosidad uniforme, sin condensación hacia el centro.
- 3 . Coma difusa con luminosidad creciente gradualmente hacia el centro.
- 6 . La coma muestra un pico de intensidad definida en el centro.
- 9 . La coma parece un punto estelar.

3. OTROS FENÓMENOS DE LA COMA

Chorros o jets y estallidos o outburst.

El siguiente paso será el ESTUDIO DE LA COLA. Ya se ha visto que se pueden observar 2 tipos de colas, la de gas (iónica) y la de polvo. En ambos casos se valorará las dimensiones, el ángulo de posición y si existen algunas estructuras características (diferencias de intensidades luminosas y la posible separación de la cabeza). Para tener las dimensiones se debería utilizar medios fotográficos ya que visualmente podemos perder mucha precisión. Para una cola de menos de 100° de longitud se sugiere obtener su tamaño aparente comparándola con pares de estrellas (al igual que en las observaciones del diámetro de la coma). Se sugiere el transporte mediante dibujo a una carta celeste. y es conveniente anotar las circunstancias de luminosidad ambiental o curvatura de la cola ya que pueden afectar a la medida. Para el ángulo de posición se utilizará una precisión de $\pm 5^\circ$. Como con el tamaño se puede dibujar sobre una carta celeste para posteriormente medir. Los dibujos también pueden ser útiles para apreciar mejor estructuras en la cola y en la coma.

Utilizar observaciones con ccd puede facilitarnos las comparaciones anteriores permitiéndonos realizar mediciones astrométricas de mayor calidad.

METEOROS

Meteoro, en su uso astronómico, es un concepto que se reserva para distinguir el fenómeno luminoso que se produce al atravesar un meteorode nuestra atmósfera. Es sinónimo de **estrella fugaz**, término impropio, ya que no se trata de estrellas que se desprendan de la bóveda celeste.

Según la terminología adoptada en nuestros días se tienen las siguientes definiciones básicas:

- **Meteorode**: son partículas de polvo y hielo o rocas de hasta decenas de metros que se encuentran en el espacio producto del paso de algún cometa o restos de la formación del Sistema Solar.
- **Meteoro**: es un fenómeno luminoso producido en la alta atmósfera por la energía de los meteoroides interceptados por la órbita de la Tierra.
- **Meteorito**: son los meteoroides que alcanzan la superficie de la Tierra debido a que no se desintegran por completo en la atmósfera.

La aparición de **meteoros** es un hecho muy frecuente y algunos son tan espectaculares que pueden observarse a simple vista. En una noche oscura y despejada se pueden detectar sin ayuda de instrumentos hasta 10 meteoros por hora, pero a intervalos irregulares (pueden pasar diez o veinte minutos sin que observe ninguno); sin embargo, en las épocas denominadas de lluvia de estrellas se llegan a observar de 10 a 60 por hora (uno cada minuto). La contaminación lumínica hace que en las ciudades sea muy difícil disfrutar de este tipo de observaciones.

Más raro es un fenómeno más deslumbrante: el de un bólido (meteoros de magnitud inferior

a -4, la magnitud de Venus). Atraviesan rápidamente el cielo, dejan tras sí una estela luminosa y a veces estallan con un ruido análogo al de un disparo de artillería.

No todas las noches del año son igual de intensas en cuanto a meteoros. Las fechas más notables tienen lugar aproximadamente el 12 de agosto (Perseidas) y el 13 de diciembre las Gemínidas. Cada cierto número de años se repiten lluvias excepcionales en tasa de meteoros visibles por hora, como las Leónidas de 1966 y 1999.

Se ha comprobado que las trayectorias de las diferentes estrellas fugaces parecen provenir de un mismo lugar de la **esfera celeste**, punto al que se da el nombre de radiante. Es un efecto de perspectiva, pues todos van paralelos, pero igual que las vías del tren, parecen converger hacia el infinito.

Las lluvias de meteoros más importantes llevan el nombre de las constelaciones en que se encuentra el radiante, al que se añade la letra griega de la estrella más próxima. Así, por ejemplo, tenemos las Líridas, las Perseidas, las Leónidas, las *gamma* Acuáridas.

Un meteoróide que no se consume en su paso por la atmósfera (fase en la que es visible como *meteoro*) y llega a estrellarse en la superficie terrestre, dada su energía, puede producir un cráter de impacto. El material fundido terrestre que se esparce de tal cráter puede enfriarse y solidificarse en un objeto conocido como tectita. Los fragmentos del cuerpo extraterrestre se denominan meteoritos.

Las partículas de polvo de meteoro dejadas por meteoroides en caída pueden persistir en la atmósfera hasta algunos meses. Estas partículas pueden afectar el clima, ya sea por dispersar radiación electromagnética o por catalizar reacciones químicas en la atmósfera superior.

Trayectoria

El origen extraterrestre de los meteoros no fue demostrado hasta 1800, cuando dos estudiantes alemanes calcularon la altura a la que aparecen en la atmósfera. El primer punto a examinar en el estudio de las estrellas fugaces es ver cómo se calcula la altura a que se las observa. Para ello se colocan dos observadores en lugares situados más de treinta kilómetros de separación anotando cada uno la trayectoria de la estrella fugaz en relación con las constelaciones y fijando su posición aparente en una carta celeste. Debido a un efecto de perspectiva, las trayectorias no coincidirán y el cálculo permitirá conocer la altura del meteorito en función de la desviación de las dos trayectorias aparentes. Por término medio, esta altura resulta ser de unos 100 km al aparecer el meteoro y 50 en el instante en que desaparece, después de haber recorrido incluso más 300 km. Su desaparición tiene lugar a alturas tanto más bajas cuanto mayor es el meteoróide. No obstante, cuando éste es lo suficientemente grande como para llegar al suelo, su velocidad disminuye debido al rozamiento con las densas capas de la atmósfera inferior, y la luz que lo envuelve se extingue a algunos kilómetros de altura. Al llegar al suelo, si su volumen es suficientemente grande, puede dar lugar a una explosión a causa de la compresión brusca del aire.

En general, la aparición acostumbra a ser muy breve. De unos segundos 3 a 5 por término medio las más brillantes hasta una fracción de segundo las más débiles. Si el meteoro es muy grande, puede seguirse su trayectoria durante un espacio de tiempo algo mayor, inferior siempre a los 20 segundos. Por otra parte la estrella fugaz es como una estrella luminosa que puede salir en cualquier momento del día, en su mayor parte en la noche, con tal rapidez que es muy posible verlo a simple vista

Distribución horaria

Se ha comprobado que los meteoros visibles en el transcurso de una misma noche van siendo más numerosos a medida que avanza la noche, siendo la media horaria de las seis de la mañana doble que a las 18. Admitiendo que los meteoros proceden de todos los lugares del espacio, la Tierra sólo recibirá los que van a su encuentro, mientras que por la mañana encontrará

todos aquéllos que halla en su camino. Además, los meteoros de la tarde son menos veloces que los de la mañana. En efecto, suponiendo que un corpúsculo a una velocidad parabólica de 42 km/s encuentra a la Tierra por la tarde, teniendo la Tierra, como sabemos, una velocidad de 30 km por segundo, la velocidad resultante será de $42-30=12$ km/s, mientras que por la mañana será de $42+30=72$ km/s. Aunque, en realidad, estos números deben modificarse por efecto de la atracción terrestre.

Al penetrar en la atmósfera terrestre, su energía cinética se transforma en calor por rozamiento y el material meteórico sublima, dando lugar al fenómeno luminoso que conocemos como estrella fugaz, y que representa un 1% de la energía inicial del meteoróide.

Rutas de ionización

Durante la entrada de un meteoróide en la atmósfera superior se crea una ruta de ionización, donde las moléculas de la atmósfera superior son ionizadas por el paso del meteoróide. Tales rutas de ionización pueden durar hasta 45 minutos en cada ocasión. Constantemente están entrando meteoroides del tamaño de pequeños granos de arena, y por lo tanto, se pueden encontrar más o menos constantemente las rutas de ionización. Cuando las ondas de radio son rebotadas por estas rutas, se llama una "comunicación cortada por meteoróide" o "dispersión de meteoróide".

La dispersión de meteoros se ha usado para asegurar la implementación de sistemas militares experimentales de comunicación. La idea básica de este sistema es que una ruta de ionización actúe como un espejo para las ondas de radio, las cuales podrán ser rebotadas en la ruta. La seguridad se dará por el hecho de que sólo receptores en una posición correcta podrán recibir la información del transmisor, al igual que con un espejo real, lo que se pueda percibir en la reflexión dependerá en la posición que se tenga respecto al espejo. Debido a la esporádica naturaleza de la entrada de meteoros, tales sistemas están limitados a cortos rangos de datos, típicamente de 459600 baud.

Los operadores de radio amateur utilizan la comunicación dispersa por meteoros en las bandas VHF. La información de Snowpack de las montañas Sierra Nevada en California se transmite desde sitios remotos vía ionización atmosférica de los meteoros.

Los radares de meteoros pueden medir la densidad atmosférica y los vientos al estimar la proporción de decaimiento y transición Doppler de un sendero del meteoróide.

Los grandes meteoroides pueden dejar tras de sí largas rutas de ionización, las cuales interactúan con el campo magnético de la Tierra. Se pueden liberar megavatios de energía electromagnética cuando la ruta se disipa, con un pico en el espectro de energía en las frecuencias de audio. Curiosamente, aunque las ondas son electromagnéticas, estas pueden ser escuchadas: son suficientemente poderosas para hacer vibrar el pasto, vidrios, cabello, los oídos y otros materiales. Es lo que se conoce con fenómeno electrofónico asociado al paso de grandes bólidos.

Origen: los cometas

Los enjambres de meteoros están asociados a los cometas. Después de la gran lluvia con radiante en la constelación del León (Leónidas) de 1833, Olmsted y Twining, de Newhaven, reconocieron (1834) que la existencia de un radiante podía explicarse suponiendo que un enjambre de corpúsculos se movía alrededor del Sol en una órbita regular, análoga a la de un cometa, y que esta órbita era atravesada por la Tierra.

En 1861, Kirkwood afirmó que estos corpúsculos eran restos de los cometas. Urbain Le Verrier publicó la órbita de los meteoros de noviembre, las Leónidas, y cuando Theodor von Oppolzer examinó la órbita del cometa 55P/Tempel-Tuttle de 1866 (1866 I) se hizo evidente la identidad de ambas trayectorias.

También en 1861, Schiaparelli demostró que las Perseidas del mes de agosto seguían la órbita del hermoso cometa Swift-Tuttle de 1862 (1862 III. Galle y Weiss demostraron que las Líridas del 19 de abril recorren la misma ruta que el cometa de Thatcher (1861 I). Finalmente, se demostró que las Acuáridas del 30 de abril se encontraban en la misma órbita del cometa 1P/Halley y que las Andromédidas del 27 de noviembre proviene del cometa de Biela(1852 III) - de aquí el nombre de Biéolidas - que se rompió en dos pedazos en 1845 y desapareció después de su regreso en 1852. Más recientemente se ha comprobado que la hermosa lluvia de estrellas Dracónidas del 9 de octubre de 1933 estaba relacionada con el cometa Giacobini-Zinner (1933 III), por lo que también se las denomina Giacobínidas.

Mecanismos de formación

Las Leónidas, las Perseidas y las Líridas han sido observadas centenares de años antes de que fuera descubierto el cometa en que están asociadas. Con la hipótesis del núcleo congelado de Fred Whipple se pudo producir una disgregación lenta del núcleo del cometa. Pero, ¿es ello suficiente para explicar el inmenso número de meteoros, que se deducen de las observaciones?

La causa de que los enjambres estén más o menos alargados y difusos está en que los corpúsculos que los constituyen se extienden por grandes espacios. Así, por ejemplo, el enjambre de las Perseidas dura 12 días, por lo menos, durante los cuales la Tierra recorre 30 millones de kilómetros. J.-G. Porter calculó que la anchura del anillo debe sobrepasar los 7 millones de km. Las distancias de los corpúsculos al Sol están lejos de ser iguales y, en consecuencia, la duración de sus revoluciones alrededor del Sol, con arreglo a las leyes de Kepler, son diferentes. El enjambre, según esto, se dispersará a lo largo de toda la órbita y con el tiempo acabará por formar un anillo de corpúsculos en el cual los elementos más rápidos alcanzarán a los más lentos; como los corredores en una pista, que si a la partida forman un solo pelotón, luego, poco a poco, los más veloces alcanzan a los últimos al ganarles una vuelta. De esta manera se explica que se puedan encontrar meteoros lo mismo antes que después del paso de un cometa.

Cada año, al llegar la Tierra por la misma fecha al punto de intersección de su órbita con la del enjambre, es decir, a su nodo ascendente o descendente, encuentra meteoroides. Si el enjambre es viejo, sus elementos habrán tenido tiempo de dispersarse a lo largo de la órbita y cada año tendrá lugar una lluvia análoga a las anteriores, como ocurre con las Leónidas; por el contrario, si el enjambre es joven, de reciente formación, se presentará en bloque compacto y solamente habrá una lluvia de estrellas en caso de encontrarse el enjambre y la Tierra en el mismo punto, lo que puede ocurrir muy de tarde en tarde si los períodos de revolución del enjambre y la Tierra no son conmensurables.

El mismo enjambre puede ser más o menos ancho y su órbita más o menos inclinada respecto al plano de la eclíptica. La Tierra tardará algunas horas, algunos días, o algunos meses, como ocurre con las e Ariétidas, en atravesarlo. Los meteoros están entonces muy esparcidos y pasan muchos días sin que se encuentre el radiante.

Las irregularidades anuales también tienen otra causa: el enjambre sufre la atracción de los planetas por los que pasa cerca y ello hace que cambie su órbita, la duración de su revolución y la distancia de los nodos a la órbita terrestre; cambios que a menudo son lo bastante importantes para que al llegar nuestro planeta en la trayectoria del enjambre solamente encuentre los elementos marginales, poco numerosos, o pase fuera del anillo corpuscular. No hay que sorprenderse, pues, de las grandes variaciones que a veces se observan de un año al siguiente. Así ocurre que un radiante rico en el pasado, hoy sólo dé algunos meteoros o se haya extinguido; por el contrario, también puede ocurrir que otro radiante, habitualmente pobre, nos reserve la sorpresa de una abundante lluvia meteórica.

Sí bien es relativamente fácil trazar un catálogo de los radiantes conocidos, apenas es posible confeccionar uno en que prevea con certeza las grandes apariciones de meteoros, dado que un enjambre alargado presenta regiones irregulares y de desigual densidad que cambian con el transcurso de los años. Camille Flammarion indicaba a principios del siglo XX: "El problema

está, pues, lejos de poderse dar por resuelto". No obstante la teoría de David Asher y Robert McNaught, que fija su atención en la órbita de los meteoros más que en la de los cometas que los generan puede dar buenas predicciones.

De entre los más importantes, sólomente hay unos pocos cuya actividad se remonta a un pasado lejano. Las Leónidas, por ejemplo, han sido señaladas desde 902; las Perseidas desde 865 y las Líridas desde el siglo V a.C.

Los corpúsculos esporádicos que se hacen visibles a su encuentro con la Tierra, a razón de 20 millones por día durante todo el año, están separados, por término medio, 260 km uno de otro, según los cálculos de Porter. En las Perseidas, esta distancia se reduce a 120 km, y en la gran lluvia de las Leónidas que tuvo efecto en 1853, en que la media horaria fue de 35.000, la separación de las partículas era del orden de los 15 a los 30 km. Como vemos, la distancia que separa a los corpúsculos es mucha, y el enjambre más compacto no puede compararse con el núcleo de un cometa.

Es posible recoger residuos de estrellas fugaces: basta fundir nieve de montañas poco holladas por el hombre y que haya permanecido en ellas el mayor tiempo posible. Después de filtrar el agua resultante, en el filtro quedan pequeñas partículas, generalmente férreas, separables por un simple imán. Se han de observar con una potente lupa, pues sus dimensiones son inferiores a 0,1 mm.

De día hay meteoros pero es difícil su observación. Sólo son detectables con técnicas de radioastronomía ya que las partículas que penetran a gran velocidad ionizan los átomos de la atmósfera. Estos trayectos ocupados por iones reflejan las ondas del radar detectando así la presencia diurna de meteoros.

Observación de Meteoros.

Una manera fácil de observar meteoros visualmente es lo que llamamos el "método de conteo". El observador toma nota de los meteoros vistos en una grabadora de cinta o sólo un trozo de papel. Da la magnitud estimada del meteoro y si pertenece o no a la lluvia observada (por ejemplo, si se trata de una Perseida o no). This method is applicable for major shower maxima like the Quadrantids, Perseids, and Geminids. Este método es aplicable para máximos de lluvias mayores como las Cuadrántidas, Perseidas y Gemínidas.

You have to decide which observing method, plotting or counting, can be used most favourably. El observador tiene que decidir qué método de observación, dibujo o conteo, puede resultar más útil para la observación. Puesto que el observador quiere tener tanta información como fuera posible de su observación, la respuesta a esta pregunta parece ser clara: gráficos. But plotting has the main disadvantage that the time used for plotting meteors is dead time. Pero dibujar los meteoros tiene una desventaja importante, que el tiempo utilizado para trazar los meteoros es tiempo muerto (de no observación). Si la frecuencia de meteoros es demasiado alto, puede suceder que se consuma hasta el 50% de su tiempo de observación para el procedimiento de trazado. Esto hace que esta observación sea muy poco fiable. Esta situación se produce cuando la actividad de meteoros total es elevada, como en agosto u octubre, o cuando una lluvia importante (mayor) está activa.

Imagínese que usted desea observar en octubre. Then a major shower, the Orionids, and two minor showers, the Taurids and epsilon-Geminids, are active. En esa época tenemos una lluvia importante, las Oriónidas, y dos lluvias de menor importancia, las Táuridas y épsilon-Gemínidas. La frecuencia de meteoros pueden ser tales que su observación se vuelve inútil si cada meteoro visto hay que dibujarlo. En este caso se deben combinar ambos métodos.

All meteors which could belong to one of the minor showers are plotted while obvious Orionids and Sporadics are "counted" according to the guidelines for major-shower observations, ie you record the latter meteor data onto tape (or write the details as notes) without taking your eyes off the sky, while plotting the former meteors. Podrían dibujarse todos los meteoros que

podrían pertenecer a una de las lluvias menores, mientras que las Oriónidas y otros esporádicos son "contados", de acuerdo a las directrices para las observaciones de lluvias mayores de meteoros, es decir, grabar los datos de meteoros esta última a la cinta (o escriba a la información como notas) sin perder de vista el cielo, mientras que se trazan los meteoros de la lluvia menor que pretendemos documentar. In this way you reduce the amount of dead time but still enable an accurate shower association to be obtained for the minor showers. De esta manera se reduce la cantidad de tiempo muerto, pero todavía es posible una asociación precisa de las lluvias de menor importancia.

Tan pronto como el observador ve a más de 20 meteoros por hora debe dibujar solo los meteoros que podrían pertenecer a una lluvia menor; el resto de meteoros deberán ser "contados" solamente.

Tengase en cuenta que el principio y el final de los períodos de actividad de la lluvia mayor tienen que ser considerados como los menores ya que en esos momentos se produce una tasa baja.

Mientras se vean menos de 20 meteoros por hora se puede trazar todos los meteoros vistos, y cuando la frecuencia es muy alta, por ejemplo 50 meteoros por hora, el observador debe concentrarse en la lluvia mayor que causa la actividad.

Características de observaciones de Lluvias Menores

Se les llama a las lluvias de meteoros menores debido a que en estas se produce poca actividad para el observador visual. Generalmente se define una lluvia como menor aquella en la cual su tasa por hora (HR Hourly Rate) es menor de 10. Es de admitirse que es un límite arbitrario, pero es de utilidad para nuestros propósitos.

No tiene sentido definir el límite distinguiendo entre lluvia mayor/menor utilizando el ZHR (zenithal hourly rate en inglés, THZ ó tasa horaria cenital en español). La técnica de observación descrita aquí es la apropiada cuando la cantidad observada de meteoros no exceda un cierto límite, ya que este método nos da un cierto tiempo muerto de observación. Es claro que la pérdida de tiempo no ha de ser significativa comprometiendo la certeza de la observación. Se ha dicho anteriormente, la meta principal de la observación visual es la confiabilidad de los parámetros físicos de la lluvia. Por lo tanto, consideramos aquellas lluvias que proporcionen menos de 10 meteoros/hora como menores. El trazar en estas lluvias se considera un método esencial de observación.

Esto significa el número visible de meteoros durante una observación es considerablemente menor al de una lluvia mayor. Esta baja actividad meteórica causa problemas específicos los cuales trataremos ahora. En realidad, los periodos de actividad inicial y final de lluvias mayores pueden ser consideradas en efecto lluvias menores, conllevando los mismos problemas.

La actividad esporádica ocurre a través de todo el año. Las trayectorias en el cielo de meteoros esporádicos parecieran estar distribuidos de forma aleatoria. Y, ocurre a veces que al trazar la trayectoria de un meteoro esporádico se cruce accidentalmente con el radiante de una lluvia. Por lo tanto, la información registrada de una lluvia puede contener algunos meteoros esporádicos no pertenecientes a esta. A este efecto se le llama "polución por meteoros esporádicos" y se encuentra en el borde de 1 a 2 meteoros por hora (m/h).

Imagínese una polución esporádica de 2m/h. Al observar una lluvia mayor de unos 80 meteoros por hora, el error relativo sería de solo 2.5%, pero en una lluvia menor de 4 meteoros por hora llegaría a ser de un 50%. Por consiguiente, la polución por meteoros esporádicos es el mayor problema al observar lluvias menores. Si deseamos obtener resultados confiables debemos reducirlo. En las siguientes partes aprenderá a lograr esto.

Enseguida apreciará que esto requiere bastante conocimiento y experiencia. Se necesitarán muchas horas de observación para lograr obtener este talento. Se preguntará entonces si todos

los resultados que obtuvieron en esta etapa de aprendizaje no tienen valor. En lo más mínimo. Mientras usted crea que la información que obtuvo de lluvias menores no es completamente confiable, reporte únicamente la cantidad de meteoros vistos. En la tabla "Número de meteoros observados por período y por lluvia" solo apunte en la columna "Tot" y en la tabla "Distribución de Magnitud" solamente anote el total de la distribución de la magnitud. Esta información sobre el total de actividad puede ser utilizada para algunos análisis.

De esta forma podrá aprender paso a paso, sin la presión de reportar gran cantidad de datos de forma correcta. En esta fase de aprendizaje trate de trazar los meteoros, reportar todos los datos, y asignar los meteoros a las diferentes lluvias hasta que usted estime que su información puede considerarse confiable.

Puede darse el caso que usted no quiera llegar tan lejos en la observación de meteoros. Si este es el caso, trate de trazar los meteoros que mira utilizando el método gráfico y envíe los datos registrados y mapas al director para observaciones visuales de la Organización Internacional de Meteoros, IMO. Esto implica que no tendrá que pelear con los problemas de observaciones de lluvias menores, pero que su información será de utilidad científica.

Escoger el campo de observación.

Muchos meteoros son vistos en el centro del campo de visión. Por ende, es importante el escoger el centro del campo como aquel en el que los meteoros que aparecen allí puede ser distinguidos de los esporádicos y asociarse a una lluvia en estudio en ese momento.

En las vecindades del radiante, los meteoros pertenecientes a una lluvia, se mueven lentamente y tienen recorridos cortos mientras que a distancias mas largas del radiante, se asemejan a los esporádicos. Un campo cerca del radiante, aparenta ser más favorable. El principal criterio, la dirección del recorrido, también aplica de manera más exacta a meteoros en la vecindad del radiante.

Por lo anterior, uno puede tal vez concluir que es mejor mirar directamente al radiante. Pero debemos de considerar otro punto también. ¿Que propiedad distingue a los meteoros de las estrellas? Su movimiento. Nosotros vemos meteoros débiles entre los cientos de estrellas en nuestro campo, debido a su movimiento Si una estrella débil apareciese durante un segundo no nos daríamos cuenta. ¡Pero este es exactamente el escenario que sucede cuando un meteorito surge en la vecindad inmediata del radiante! Necesitamos un ángulo de movimiento cuando se avista un meteorito. Por otro lado, los meteoros muy rápidos, también no se ven. La velocidad intermedia es óptima para la percepción. Tomando en consideración todos los factores discutidos anteriormente, una distancia del centro del campo de visión al radiante(s) en estudio de 20° a 40° es ideal. Las distancias de más de 50° deben evitarse.

Además, una elevación de 50° a 70° del horizonte y una distancia del radiante de 20° a 40°, existe un punto adicional para tomar en cuenta. Si va a observar varias lluvias al mismo tiempo, lo cual es perfectamente posible, debe de tomar en consideración que los raudientes no se sitúen en una línea como es visto desde el centro del campo. De otra forma, los meteoros de estos raudientes no podrán ser distinguidos por las direcciones de sus recorridos y distinguirlos por su velocidad angular o únicamente por la longitud de su recorrido será más difícil y menos certero.

Al observar, por ejemplo, las Oriónidas con su radiante cerca de Betelgeuse (beta Ori) y las epsilon Gemínidas con su radiante cerca de Pollux (beta Gem) el centro del campo debería estar en Tauro/Auriga/Perseo o Can Mayor/Monoceros/Can Menor más bien que en Cáncer/Osa Mayor o Liebre/Eridano.

Cuando haya escogido el campo mejor situado, debería de seguir su movimiento diurno mientras las condiciones lo permitan (elevación del campo de 50°-70°, luces artificiales, obstrucciones, etc.). Si usted se ve en la necesidad de cambiar de campo, anote el tiempo de este cambio y el nuevo campo. Para el análisis, el tiempo de dicho cambio debería de ser idéntico al límite del intervalo de observación.

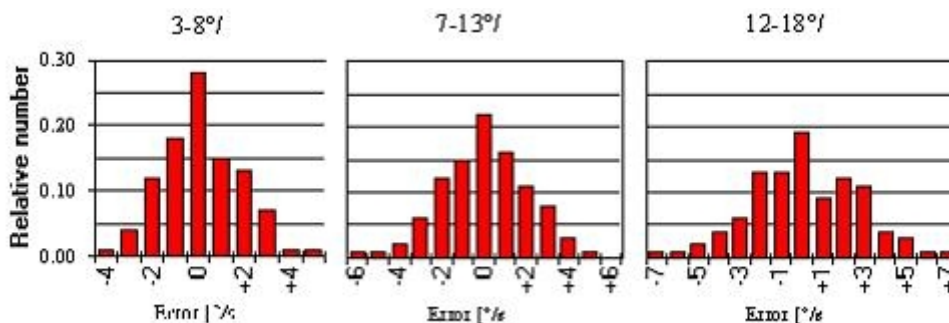
Cuando aparezca un meteorito, mantenga su mente alerta. Trate de guardar el fenómeno

completo en su memoria. Luego siga viendo el cielo para memorizar la siguiente información (en este orden):

1. El recorrido: La información más importante es su dirección antes que sus puntos exactos de inicio y fin. Memorícelo de acuerdo a las estrellas de fondo, es decir entre cuales estrellas paso el meteoro o entre cuales puede ser rastreada nuevamente o prolongada.

2. Magnitud máxima: Estime ésta comparándola con la brillantez de las estrellas vecinas que memorizó al principio de la observación.

3. Velocidad Angular: Para tener una cantidad que pueda compararse con un valor esperado para asociar una lluvia, usted debe de estimar ésta en grados por segundo. Esto no es complicado. En su imaginación, usted supone que un meteoro se mueva por un segundo. El lapso de tiempo de un segundo puede ser reproducido fácilmente y la sensación de la velocidad angular, aun la tiene en la memoria. La longitud del recorrido en grados que el meteoro haya alcanzado después de moverse por un segundo, es su velocidad angular en grados por segundo. Una vez se tenga mas experiencia, usted tendrá la escala fija en su memoria y puede entonces estimar la velocidad angular directamente sin utilizar este procedimiento. No intente de estimar la duración y de obtener la velocidad angular dividiendo su longitud del recorrido entre su duración. La duración es muy difícil e incierta para estimar y la longitud del recorrido es afectada por trazar errores, por lo que el resultado incierto de la velocidad angular es mucho mayor que si convirtiera la sensación de la velocidad directamente en grados por segundo. La Figura da una idea acerca de la precisión que logran los observadores experimentados.



4. Estela persistente: Indique su duración en segundos. Las estelas muy cortas pueden marcarse con una "+". Las estelas de larga duracion de meteoros brillantes pueden mostrar comportamientos interesantes de atenuación. Las mismas pueden resultar dobladas o distorsionadas, y usted debe de anotar los detalles de estos fenómenos.

5. Color Note que generalmente es imposible detectar colores en meteoros menores a magnitud +2. Este dato es el de menor valor de toda la información.

Ahora, usted puede escoger la carta en donde el meteoro se ha trazado mejor, es decir aquella carta estelar en la cual el meteoro se encuentra lo mas cerca del centro. Vale la pena preparar un surtido de cartas para que usted sepa la secuencia exactamente y pueda encontrar la tarjeta más adecuada y no interrumpir la observación. El siguiente paso es la identificación de las estrellas que utilizó para memorizar el recorrido en la propia carta. Ya que las cartas contienen todas las estrellas hasta la magnitud +6.5 usted debería de encontrarlas fácilmente a menos que su limite de magnitud es considerablemente mejor que +6.5mag. Este paso es una fuente para trazar errores, por lo que ¡hay que tener cuidado! Si usted está seguro que ha encontrado las estrellas correctas, puede trazar el meteoro de memoria. Para identificación, el trazo debe de numerarse.

Finalmente, usted debe de estimar la precisión del trazo con la siguiente escala:

1. Muy preciso
2. Precisión intermedia
3. Precisión pobre

Para sus primeras observaciones, el trazo requerirá de algún tiempo. No se apure: tome su tiempo para trazar con cuidado. ¡Lo mas importante es la calidad! El tiempo necesario para trazar reducirá rápidamente con la experiencia. Los observadores expertos necesitan un promedio de 10 a 30 segundos.

Después de trazar, vea su reloj para registrar la hora. A menos que haya visto un bólido, la hora debe de ser aproximada unicamente. Una exactitud de un minuto es suficiente. Luego debe de registrarse todo el resto de la información. Puede completar una lista como se indica en la figura de abajo.

Date: 1991 Oct 30 31

Observer: Karl Koch (KOCKA)

No.	Time (UT)	Shw	Mag	Ang. Vel.	Train	Col.	Acc	Chart No.	Begin		End	
									X _B	Y _B	X _E	Y _E
321	2025		4	8			2	1				
322	202843		0	15		wh	2	1				
323	2029		3	6			1	1				
324	2029		3.5	7			1	7				
325	2031		6	8			1	7				
326	203649		-1	12	1000	wh	1	7				
327	2040		4.5	6			1	7				
328	2044		6.5	12			1	7				
329	2050		4.5	3			1	7				
330	2055		5.5	10			1	7				
331	2057		5	6			1	7				

Para poder ahorrar tiempo de observación, se puede registrar la información en cinta magnética. En esta caso usted debe llenar la lista después de la observación. Para meteoros trazados necesitará cierto tiempo, durante el cual debe ver a sus tarjetas en vez de al cielo. Por lo tanto, el tiempo de observación efectivo debe reducirse por el tiempo de trazo. Seria un esfuerzo mayor el registrar el tiempo que se utilizó en trazar cada meteoro individualmente, por lo que es mejor determinar el tiempo promedio para trazar un meteoro como se indica a continuación.

Utilice un cronómetro que pueda sumar tiempos. Cuando empiece a ver la tarjeta inicie el cronómetro para trazar, deténgalo al finalizar el trazo en, digamos 38.4 s (0:38.4), cuando ocurra el siguiente meteoro después de algunos minutos, inicie otra vez a los 38.4s, deténgalo después del trazo a 1:22.6 y así sucesivamente. Después de observar un dado número de meteoros, digamos 25, el cronómetro despliega el tiempo en el que usted no observó el cielo, digamos 16 min 40 s. Dividiendo este tiempo entre 25 meteoros, obtendrá un promedio de tiempo de trazo de 40 s por meteoro (16 min 40 s = 1000 s, 1000 s / 25 meteoros = 40 s / meteoro). Si usted observó, por ejemplo 29 meteoros en un intervalo, el tiempo total de trazo a ser restado del tiempo efectivo es 29 meteoros por 40 s/meteoro = 1160 s = 19m 20s ~19 min. En la forma de reporte (análisis de intervalos) estas cantidades deben de ser llenadas en la línea "Tiempo para trazo _____ s / meteoro, _____ min total". Para los observadores experimentados el tiempo promedio para trazar un meteoro es una constante que debe revisarse unas dos veces al año a través del procedimiento descrito con anterioridad. Los novatos deben revisarlo regularmente, digamos cada tres observaciones de meteoros.